

Modelagem de Derrame de Óleo no Mar para a Atividade de Transporte de Óleo do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos - Etapa 2



Revisão 00
Ago/2013

Modelagem de Derrame de Óleo no Mar para a Atividade de Transporte de Óleo do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 2

**Revisão 00
Agosto / 2013**



E&P

A TETRA TECH é responsável pelo conteúdo do presente relatório incluindo: tecnologias, metodologias, especificações técnicas, desenhos, figuras, cópias, diagramas, fórmulas, modelos, amostras, e fluxogramas.

A utilização deste material deverá ser compatível com o escopo do projeto/trabalho contratado, fazendo-se expressa menção ao nome da TETRA TECH como autora do estudo. Da mesma forma, quando a equipe técnica da TETRA TECH for incorporada na equipe técnica da empresa contratante, esta deverá ser mencionada, e referenciada, como: “consultores da Tetra Tech”. Qualquer dúvida ou alteração desta conduta deverá ser discutida entre o cliente e a TETRA TECH.

TETRA TECH, 2013. Modelagem de Derrame de Óleo no Mar para a Atividade de Transporte de Óleo do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 2. Relatório Técnico, Revisão 00 (01 de agosto de 2013). 90pp+Anexos.

CONTROLE DE REVISÕES

REV.	DESCRIÇÃO	DATA
00	Documento Original	01/08/2013

	Original	Rev. 01	Rev. 02	Rev. 03	Rev. 04	Rev. 05	Rev. 06	Rev. 07	Rev. 08
Data	01/08/13								
Elaboração									
Verificação									
Aprovação									

ÍNDICE GERAL

RESUMO	1
I INTRODUÇÃO	I-1
II MODELAGEM DE DERRAME DE ÓLEO.....	II-1
II.1 DADOS DE ENTRADA	II-1
II.1.1 CAMPOS DE CORRENTE.....	II-2
II.1.2 CAMPOS DE VENTO	II-3
II.1.3 PONTOS DE MODELAGEM E VOLUMES DE DERRAME	II-8
II.1.4 CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS UTILIZADOS.....	II-9
II.2 CRITÉRIOS DE PARADA ADOTADOS NAS SIMULAÇÕES	II-9
II.3 RESUMO DOS CENÁRIOS SIMULADOS.....	II-10
III RESULTADOS DA MODELAGEM DE DERRAME DE ÓLEO	III-1
III.1 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS	III-1
III.1.1 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS – VERÃO.....	III-3
III.1.2 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS – INVERNO.....	III-15
III.2 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS CRÍTICAS.....	III-28
III.2.1 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E OCEANOGRÁFICAS - SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS CRÍTICAS.....	III-36
III.3 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS PARA AS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E OCEANOGRÁFICAS MAIS FREQUENTES..	III-41
III.4 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E OCEANOGRÁFICAS - SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS PARA AS CONDIÇÕES MAIS FREQUENTES.....	III-49
IV CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	IV-1
V BIBLIOGRAFIA.....	V-1
VI EQUIPE TÉCNICA	VI-1

LISTA DE TABELAS

TABELA	PÁG.
Tabela II-1 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção (°) do vento (CFSR), para o período de verão de 2004, com intervalo de amostragem dt=1h (convenção meteorológica).	II-6
Tabela II-2 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção (°) do vento (CFSR), para o período de inverno de 2004, com intervalo de amostragem dt=1h (convenção meteorológica).	II-7
Tabela II-3 - Coordenadas (SIRGAS2000) dos pontos de modelagem.	II-8
Tabela II-4 - Características do óleo 1-SPS-50.	II-9
Tabela II-5 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas.	II-10
Tabela III-1 - Extensão da costa com probabilidade de toque para os cenários individuais.	III-1
Tabela III-2 - Extensão da costa com probabilidade de toque para os cenários integrados.	III-2
Tabela III-3 - Resumo dos resultados da modelagem probabilística.	III-2
Tabela III-4 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume de pior caso, no Polo Pré-Sal, no período de verão.	III-10
Tabela III-5 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume de pior caso, no Polo Pré-Sal, no período de inverno.	III-23
Tabela III-6 - Resumo dos cenários determinísticos críticos simulados.	III-28
Tabela III-7 - Resumo dos cenários determinísticos mais frequentes que apresentaram toque de óleo na costa.	III-42

LISTA DE FIGURAS

FIGURA.....	PÁG.
Figura I-1 - Localização dos pontos de modelagem.....	I-1
Figura II-1 - Grade definindo os contornos de terra (grade <i>land-water</i>) para a modelagem de deriva de óleo.....	II-1
Figura II-2 - Diagrama <i>stick plot</i> dos valores médios diários de dados de vento (CFSR) para o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 2004, intervalo de amostragem $dt=1h$. A barra de cores lateral indica a intensidade dos vetores (convenção vetorial, em m/s).....	II-4
Figura II-3 - Histograma direcional dos vetores de vento (CFSR), para o período de verão (a) e inverno (b) do ano de 2004; a intensidade (círculos concêntricos) é apresentada em (m/s) e a escala de cores representa a porcentagem de observações (convenção meteorológica).....	II-5
Figura II-4 - Instantâneo do campo de vento utilizado na modelagem de deriva de óleo apresentada neste estudo (condição mais frequente).	II-7
Figura II-5 - Instantâneo do campo de vento utilizado na modelagem de deriva de óleo apresentada neste estudo (passagem de sistema frontal).....	II-8
Figura III-1 - Cenário S01_VER_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do ponto S01, no Polo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 3.600,0 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação.	III-3
Figura III-2 - Cenário S04_VER_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do ponto S04, no Polo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 3.600,0 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação.	III-4
Figura III-3 - Cenário S09_VER_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do ponto S09, no Polo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 3.600,0 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação.	III-5
Figura III-4 - Área total com probabilidade de óleo na água para o Polo Pré-Sal, decorrente de derrames de volume de pior caso, durante os meses de verão (janeiro a março)..	III-6
Figura III-5 - Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para o Polo Pré-Sal, decorrente de derrames de volume de pior caso, durante os meses de verão (janeiro a março).	III-7

FIGURA	PÁG.
Figura III-6 - Tempo de deslocamento de óleo na água para o Polo Pré-Sal, decorrente de derrames de volume de pior caso, durante os meses de verão (janeiro a março).	III-8
Figura III-7 - Volume máximo de óleo (m ³) por metro de costa para o Polo Pré-Sal, decorrente de derrames de volume de pior caso, durante os meses de verão (janeiro a março).	III-9
Figura III-8 - Cenário S01_INV_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do ponto S01, no Polo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 3.600,0 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação	III-16
Figura III-9 - Cenário S04_INV_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do ponto S04, no Polo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 3.600,0 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação.	III-17
Figura III-10 - Cenário S09_INV_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do ponto S09, no Polo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 3.600,0 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação.	III-18
Figura III-11 - Área total com probabilidade de óleo na água para o Polo Pré-Sal, decorrente de derrames de volume de pior caso, durante os meses de inverno (junho a agosto).....	III-19
Figura III-12 - Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para o Polo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo volume de pior caso, durante os meses de inverno (junho a agosto).....	III-20
Figura III-13 - Tempo de deslocamento de óleo na água para o Polo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo volume de pior caso, durante os meses de inverno (junho a agosto).	III-21
Figura III-14 - Volume máximo de óleo (m ³) por metro de costa para o Polo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo volume de pior caso, durante os meses de inverno (junho a agosto).....	III-22
Figura III-15 - DET_S01_VER_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 3.600,0 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o verão.....	III-30
Figura III-16 - Balanço de massa do cenário DET_S01_VER_PC.....	III-30
Figura III-17 - DET_S04_VER_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 3.600,0 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o verão.....	III-31

FIGURA.....	PÁG.
Figura III-18 - Balanço de massa do cenário DET_S04_VER_PC.....	III-31
Figura III-19 - DET_S09_VER_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 3.600,0 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o verão.....	III-32
Figura III-20 - Balanço de massa do cenário DET_S09_VER_PC.....	III-32
Figura III-21 - DET_S01_INV_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 3.600,0 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o inverno.....	III-33
Figura III-22 - Balanço de massa do cenário DET_S01_INV_PC.	III-33
Figura III-23 - DET_S04_INV_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 3.600,0 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o inverno.....	III-34
Figura III-24 - Balanço de massa do cenário DET_S04_INV_PC.	III-34
Figura III-25 - DET_S09_INV_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 3.600,0 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o inverno.....	III-35
Figura III-26 - Balanço de massa do cenário DET_S09_INV_PC.	III-35
Figura III-27 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística crítica do ponto de modelagem S01, no verão. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente- W/NW; Vento- S.....	III-36
Figura III-28 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo em um instante intermediário da simulação determinística crítica do ponto de modelagem S01, no verão. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente- W; Vento- SSE.....	III-37
Figura III-29 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação determinística crítica do ponto de modelagem S01, no verão. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente- W; Vento- S.....	III-38
Figura III-30 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística crítica do ponto S09, no inverno. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente- SW; Vento- ESE.....	III-39
Figura III-31 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo em um instante intermediário da simulação determinística crítica do ponto S09, no inverno. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente- SW; Vento- E.	III-40

FIGURA.....	PÁG.
Figura III-32 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação determinística crítica do ponto S09, no inverno. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente- S/SW; Vento- SE.	III-41
Figura III-33 - DET_FREQ_S01_VER_PC. Cenário determinístico frequente para um derrame de 3.600,0 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o verão.....	III-43
Figura III-34 - Balanço de massa do cenário DET_FREQ_S01_VER_PC.....	III-43
Figura III-35 - DET_FREQ_S04_VER_PC. Cenário determinístico frequente para um derrame de 3.600,0 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o verão.....	III-44
Figura III-36 - Balanço de massa do cenário DET_FREQ_S04_VER_PC.....	III-44
Figura III-37 - DET_FREQ_S09_VER_PC. Cenário determinístico frequente para um derrame de 3.600,0 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o verão.....	III-45
Figura III-38 - Balanço de massa do cenário DET_FREQ_S09_VER_PC.....	III-45
Figura III-39 - DET_FREQ_S01_INV_PC. Cenário determinístico frequente para um derrame de 3.600,0 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o inverno.....	III-46
Figura III-40 - Balanço de massa do cenário DET_FREQ_S01_INV_PC.	III-46
Figura III-41 - DET_FREQ_S04_INV_PC. Cenário determinístico frequente para um derrame de 3.600,0 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o inverno.....	III-47
Figura III-42 - Balanço de massa do cenário DET_FREQ_S04_INV_PC.	III-47
Figura III-43 - DET_FREQ_S09_INV_PC. Cenário determinístico frequente para um derrame de 3.600,0 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o inverno.....	III-48
Figura III-44 - Balanço de massa do cenário DET_FREQ_S09_INV_PC.	III-48
Figura III-45 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística mais frequente do ponto S04, no verão. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente-SW; Vento-NE.	III-49
Figura III-46 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo em um instante intermediário da simulação determinística mais frequente do ponto S04, no verão. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente-SW; Vento-NE.....	III-50

FIGURA.....	PÁG.
Figura III-47 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de maior proximidade da costa da simulação mais frequente do ponto S04, no verão. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente-W/SW; Vento-E.	III-51
Figura III-48 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística mais frequente do ponto S09, no inverno. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente-W/SW; Vento-S.....	III-52
Figura III-49 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística mais frequente do ponto S09, no inverno. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente-W; Vento-SE.....	III-53
Figura III-50 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de maior proximidade da costa da simulação mais frequente do ponto S09, no inverno. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente-S/SW; Vento-SE.....	III-54

LISTA DE ANEXOS

ANEXO	PÁG.
ANEXO A – DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE MODELOS OILMAP	A1
ANEXO B - TESTES PARA DEFINIÇÃO DO NÚMERO DE SIMULAÇÕES DOS CENÁRIOS PROBABILÍSTICO	B1
ANEXO C – ANÁLISE DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E OCEANOGRÁFICAS MAIS FREQUENTES	C1

RESUMO

Este relatório apresenta os resultados da modelagem numérica, de derrame de óleo no mar, relativos às atividades do transporte de óleo do Polo Pré-Sal, referentes à Etapa 2. Para este estudo, foram realizadas simulações de derrame de óleo a partir de um conjunto de três pontos de modelagem.

O sistema de modelos OILMAP foi utilizado para definir a área potencialmente ameaçada por derramamentos de óleo.

Foram conduzidas simulações probabilísticas para duas condições sazonais (verão e inverno), três pontos de modelagem e um volume de derrame: pior caso (3.600,0 m³, derramados ao longo de 24 horas). O critério de parada adotado nas simulações foi o tempo de 30 dias após o final do vazamento.

A partir dos resultados das simulações probabilísticas, foram selecionados os cenários determinísticos críticos para cada cenário probabilístico, utilizando como critério o menor tempo de toque na costa. Adicionalmente, foram realizadas simulações determinísticas referentes às condições meteorológicas e oceanográficas mais frequentes.

Os resultados das simulações probabilísticas demonstraram que a condição sazonal de verão, no geral, proporciona maiores extensões de costa com probabilidade de toque. Ainda analisando os resultados de verão, estes apresentaram maior ocorrência de cenários com probabilidade de toque de óleo na costa quando comparado ao inverno. O menor tempo de toque na costa foi de 70 horas no verão (ponto de modelagem S01) e 69 horas no inverno (ponto de modelagem S09).

I INTRODUÇÃO

Com o objetivo de dar suporte à PETROBRAS na elaboração dos estudos ambientais para a atividade de transporte de óleo do Polo Pré-Sal, apresenta-se, neste estudo, a Etapa 2 da modelagem numérica da trajetória e intemperismo de derrames de óleo no mar. Foram definidos três pontos de modelagem para a avaliação de potenciais derrames de óleo na região.

A Figura I-1 apresenta a localização dos pontos de modelagem para a qual foram realizadas as simulações numéricas de potenciais acidentes com derrame de óleo.

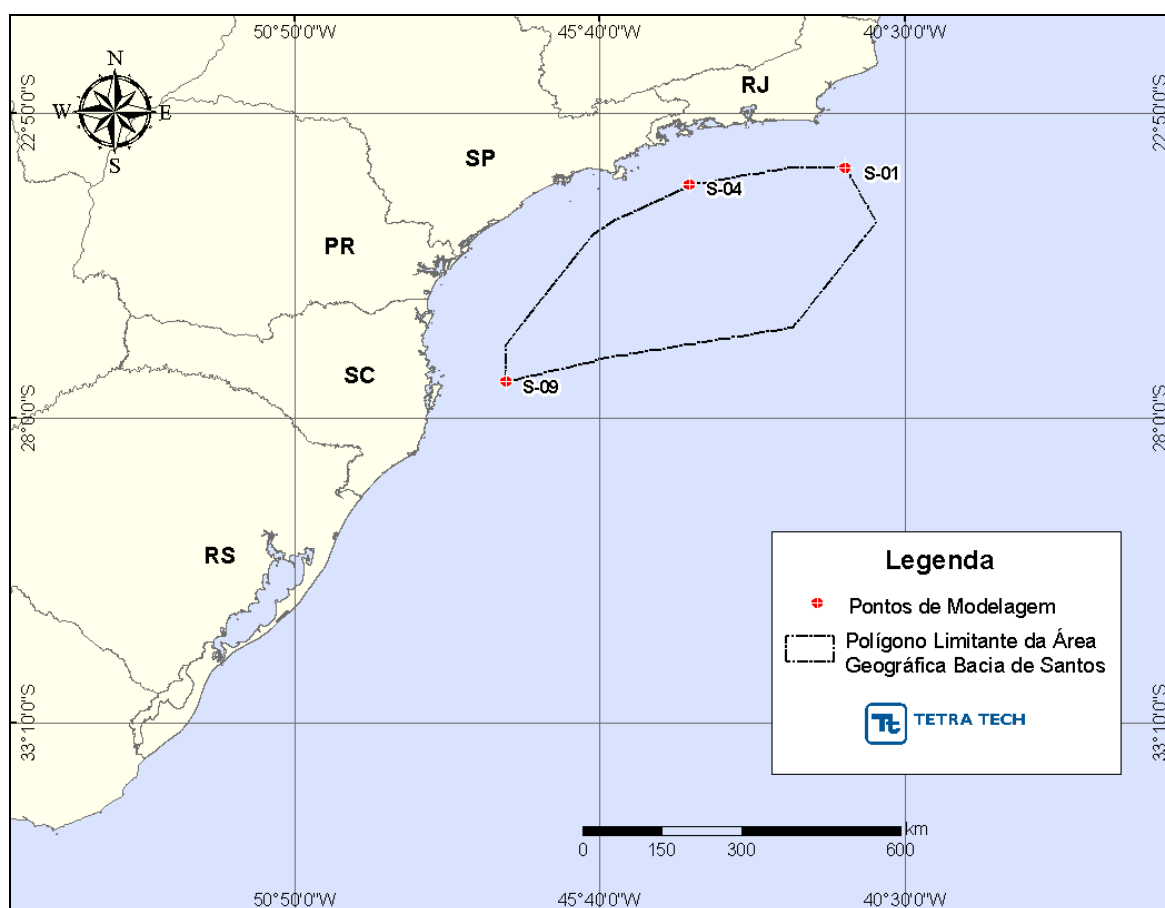


Figura I-1 - Localização dos pontos de modelagem na Área Geográfica Bacia de Santos.

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 grande escala, (c) campos de vento variáveis no tempo e no espaço e (d) caracterização físico-química do produto.

A modelagem foi conduzida através da utilização de um sistema de modelos conhecido como OILMAP, desenvolvido pela ASA-RPS. O campo de correntes característico dos padrões de circulação na região foi obtido a partir de um modelo numérico de mesoescala, baseado no HYCOM¹, desenvolvido pela PETROBRAS através do projeto REMO (Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica).

Foi considerando um campo de ventos variável no tempo e no espaço, baseado em dados de reanálise do CFSR².

As simulações de derrame de óleo consideraram: três pontos de modelagem; um volume de derrame (pior caso) e duas condições sazonais (verão e inverno). Como critério de parada nas simulações de derrame de óleo utilizou-se o tempo de 30 dias após o final do vazamento.

A partir dos resultados das simulações probabilísticas, foram selecionados os cenários determinísticos críticos utilizando como critério o menor tempo de toque na costa. Adicionalmente, foram realizadas simulações determinísticas referentes às condições meteorológicas e oceanográficas mais frequentes.

A seguir, o Capítulo II descreve os cenários acidentais de óleo, suas características e os dados de entrada. Os resultados das simulações probabilísticas e determinísticas (críticas e mais frequentes) são apresentados no Capítulo III. Por fim, o Capítulo IV apresenta as considerações finais para o presente estudo. Em complementação, no Anexo A apresenta-se a descrição do modelo OILMAP e no Anexo B, a análise meteorológica e oceanográfica das condições mais frequentes.

¹ *HYbrid Coordinate Ocean Model.*

² *Climate Forecast System Reanalysis* obtido junto ao *Climate Diagnostics Center (NCDC)* através do website <<http://rda.ucar.edu/pub/cfsr.html>>. Data de último acesso: junho de 2013.

II MODELAGEM DE DERRAME DE ÓLEO

Na modelagem de derrame de petróleo foi utilizado o modelo OILMAP. Este modelo é uma ferramenta utilizada para o acompanhamento e previsão do deslocamento e intemperismo de óleo derramado em acidentes com petróleo. A descrição completa do modelo encontra-se no Anexo A.

II.1 DADOS DE ENTRADA

Para a elaboração dos cenários de deriva para acidentes com petróleo, a área de estudo foi definida a partir de uma grade *land-water*, com dimensões de 1.000 x 1.000 pontos, com resolução espacial de aproximadamente 3 km em ambos os eixos.

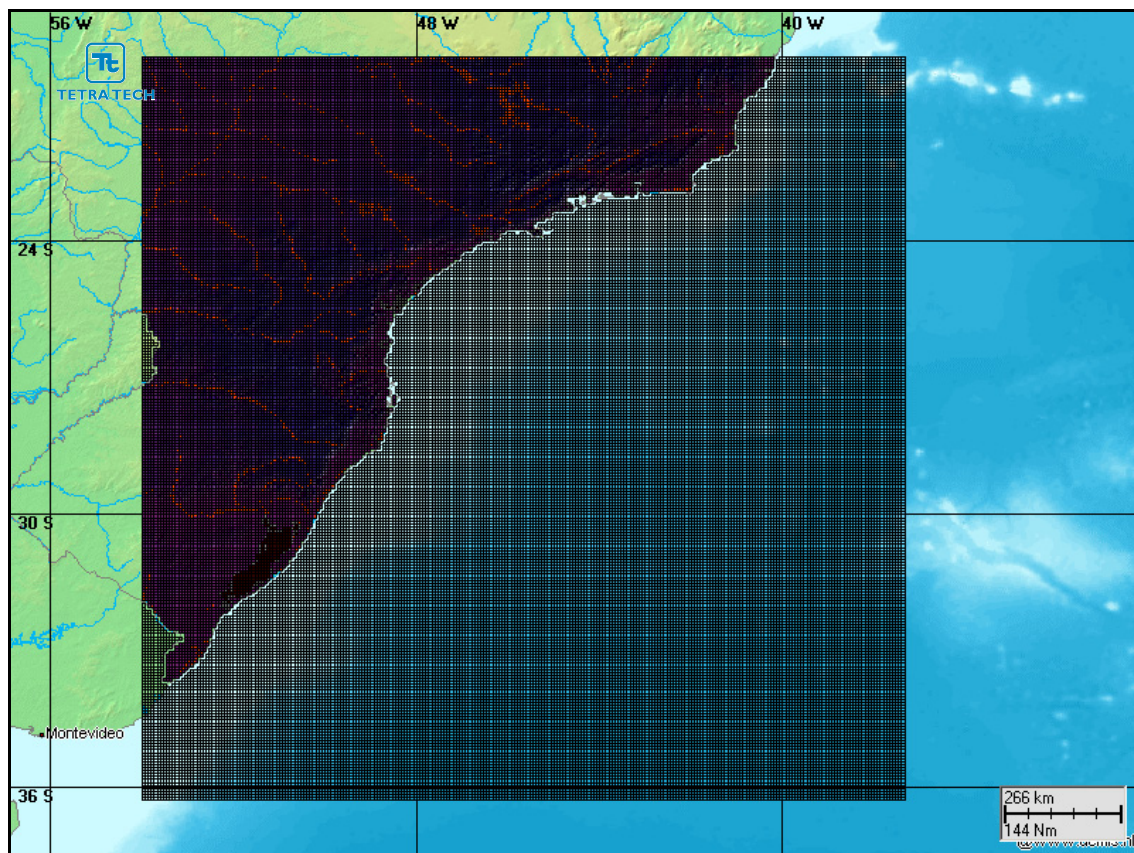


Figura II-1 - Grade definindo os contornos de terra (grade *land-water*) para a modelagem de deriva de óleo.

II.1.1 Campos de Corrente

Os campos de corrente utilizados na modelagem do transporte de óleo foram gerados a partir da modelagem hidrodinâmica apresentada no “Relatório Técnico Base Hidrodinâmica SSE” (REMO, 2012) elaborado pelo Grupo de Estudos de Processos Oceânicos do Programa de Engenharia Oceânica da COPPE/UFRJ no âmbito da Rede Temática de Modelagem e Observação Oceanográfica (REMO), cuja cópia digital encontra-se no DVD anexo a este documento.

A base hidrodinâmica foi simulada por um período de sete anos com o modelo oceânico HYCOM (BLECK *et al.*, 2002 e WALLCRAFT *et al.*, 2009). A base representa a região compreendida entre as latitudes 14 e 30° Sul e longitudes 34 e 51° Oeste, correspondendo à região SSE do Brasil e incluindo as regiões das bacias do Espírito Santos, de Campos e de Santos. A região é discretizada em uma grade numérica de resolução horizontal nominal equivalente a 1/24°, correspondendo na região a um espaçamento de aproximadamente 4,0 a 4,5 km. O modelo é capaz, devido a sua alta resolução espacial, de representar fenômenos de larga e meso escalas no oceano e, em função das forçantes nos contornos, efeitos em escala sinótica e oscilações devidas à maré astronômica.

Para avaliar a sazonalidade das forçantes ambientais nos padrões de circulação e transporte, foram definidos dois campos hidrodinâmicos representativos dos períodos típicos de verão (janeiro a março) e inverno (junho a agosto) de 2004.

A seleção do ano de 2004 para representar a hidrodinâmica da Bacia de Santos baseou-se em simulações probabilísticas de vazamento de óleo realizadas com os resultados obtidos pelo modelo HYCOM para os anos de 2004, 2005, 2006 e 2007. Estas simulações foram realizadas pela Petrobras e compiladas no Relatório Técnico “Modelagem de Derrame de Óleo na Bacia de Santos para Determinação do Ano que constituirá a Base Hidrodinâmica da Região Sudeste” (RT-TEO 079/2012; CENPES, 2012), e se encontra em cópia digital no DVD anexo a este documento. O ano de 2004 foi selecionado para constituir a base hidrodinâmica que será utilizada para as modelagens de óleo na Bacia de Santos por ter proporcionado o menor tempo para a chegada do óleo na costa, tanto para o período de inverno quanto para o período de verão.

II.1.2 Campos de Vento

Na modelagem de deriva de óleo foi utilizado um conjunto de dados de vento variável no tempo e no espaço, proveniente da reanálise do modelo atmosférico CFSR. O CFSR é um produto de reanálise gerado pelo Centro Norte-Americano para Previsão Ambiental, NCEP³, distribuído pela Central Norte-Americana de Dados Climáticos, NCDC⁴. Trata-se de um conjunto de assimilação de dados que acopla os sistemas oceano-superfície-atmosfera e continente-gelo, em escala global e em alta resolução.

O CFSR difere de outros produtos de reanálise pelo acoplamento entre o oceano e a atmosfera, por ter um modelo interativo de gelo marinho e também por assimilar dados de satélites através de um esquema de interpolação estatística. Além disso, contém informações sobre variações nos níveis de dióxido de carbono, aerossóis atmosféricos e gases-traço, incluindo assim seus efeitos sobre o sistema climático terrestre. A resolução espacial do CFSR é de 0,3° enquanto a resolução temporal é horária.

Para apresentar a análise do campo de vento, optou-se por apresentar a série extraída para a localização do ponto de modelagem S04 (24°02'31,74"S / 44°07'31,40"W). A análise compreende o período de 1° de janeiro de 2004 a 31 de dezembro de 2004.

A Figura II-2, abaixo, apresenta o diagrama tipo *stick plot* referente às médias diárias dos dados de vento deste período. Observa-se que os ventos mais intensos foram, em geral, da direção NE, ocorrendo em especial nos meses de janeiro e setembro. Tal circulação está associada ao padrão médio da região, forçado pela Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). A partir deste gráfico não é possível diferenciar claramente os padrões de verão e inverno.

³ National Centers for Environmental Prediction.

⁴ Climate Diagnostics Center.

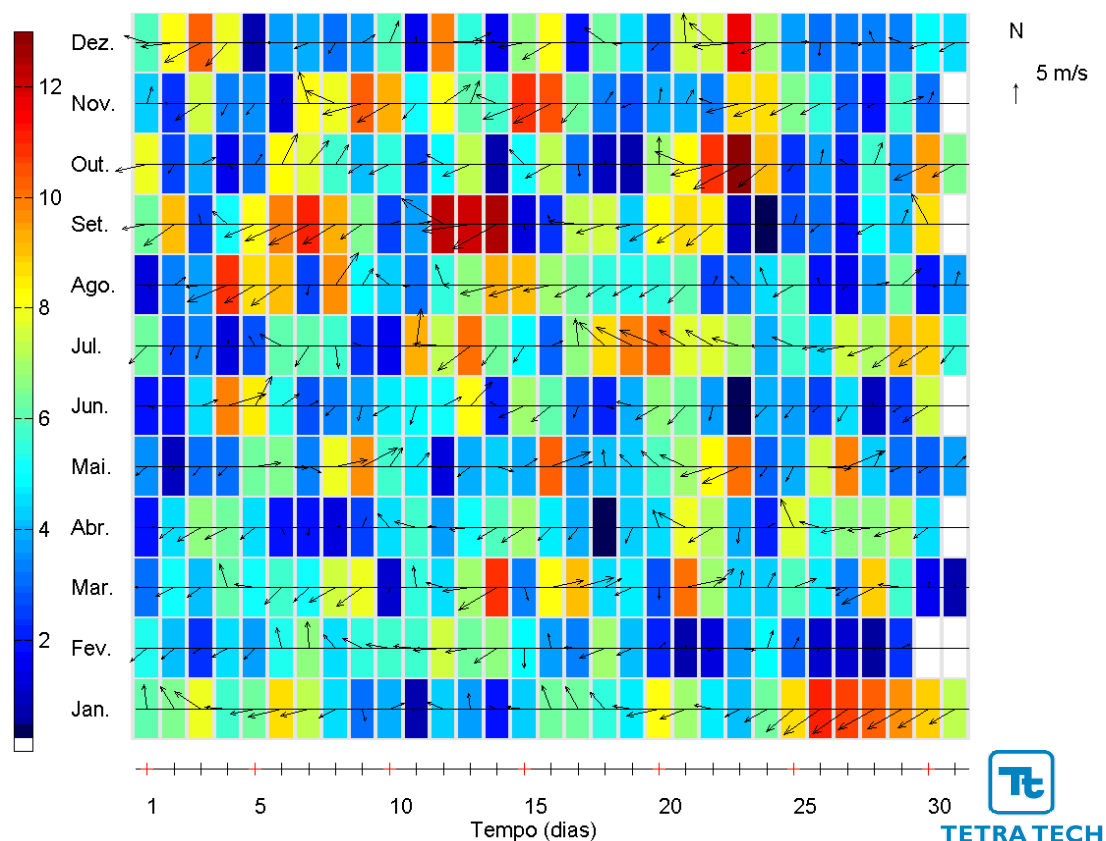
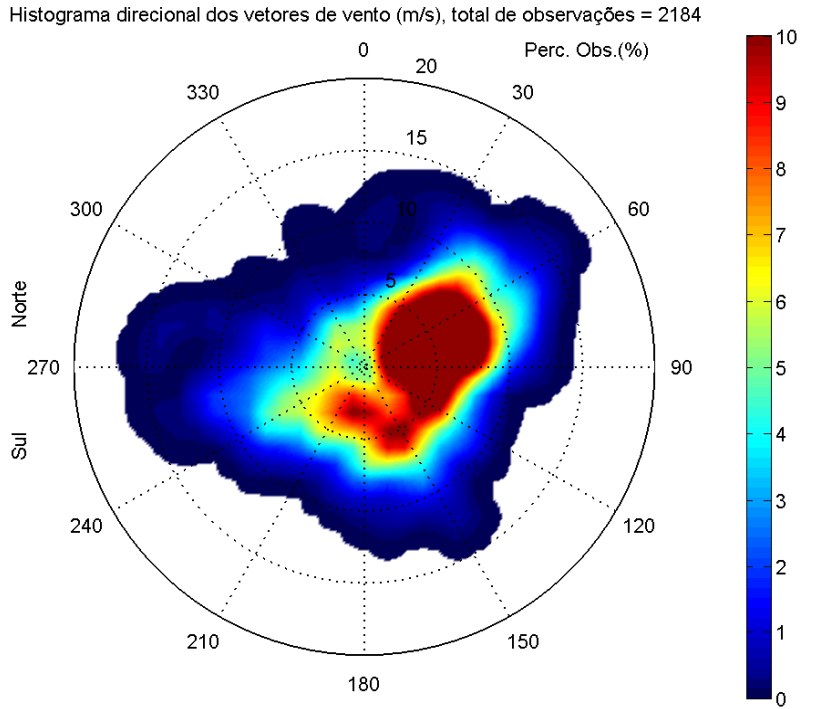


Figura II-2 - Diagrama stick plot dos valores médios diários de dados de vento (CFSR) para o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 2004, intervalo de amostragem $dt=1h$. A barra de cores lateral indica a intensidade dos vetores (convenção vetorial, em m/s).

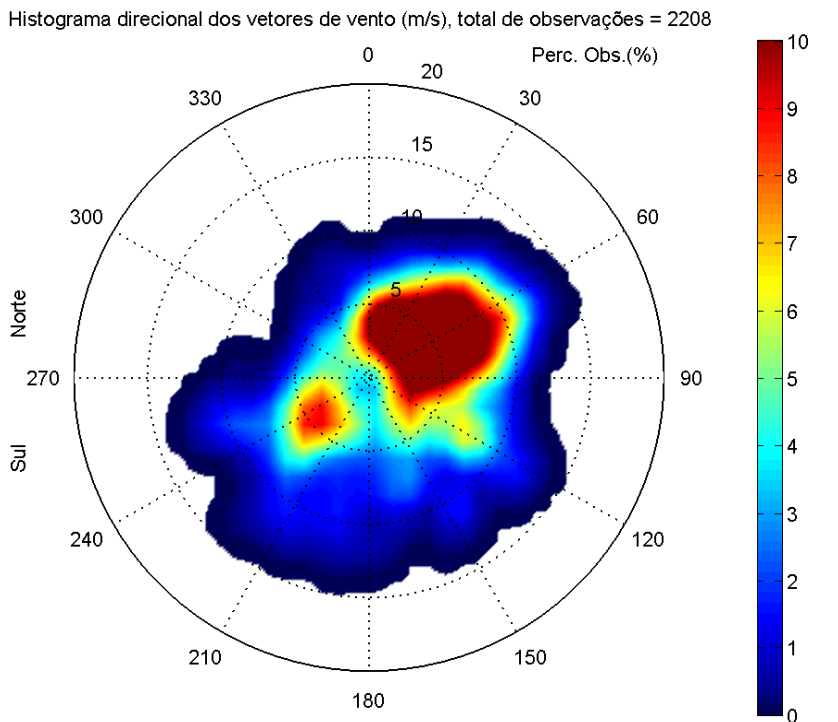
Na Figura II-3 são apresentados os histogramas direcionais dos valores médios horários destes dados de vento para os períodos de verão (janeiro a março) e inverno (junho a agosto). A direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica. A intensidade é apresentada em (m/s) e a escala de cores representa a porcentagem de observações (em relação ao total de amostras).

Os histogramas demonstram que em ambos os períodos os ventos mais frequentes foram provenientes de NE, associados à circulação das ASAS. No período de verão observa-se que o núcleo de maior probabilidade espalha-se para o quadrante SE, influenciado pela atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Já no período de inverno, a segunda direção com maior número de observações é SW, direção associada à passagem de sistemas frontais pela região.



Direção em graus a partir do norte geográfico - convenção meteorológica

(a)



Direção em graus a partir do norte geográfico - convenção meteorológica

(b)

Figura II-3 - Histograma direcional dos vetores de vento (CF SR), para o período de verão (a) e inverno (b) do ano de 2004; a intensidade (círculos concêntricos) é apresentada em (m/s) e a escala de cores representa a porcentagem de observações (convenção meteorológica).

A Tabela II-1 e a Tabela II-2 apresentam a frequência de ocorrência conjunta entre intensidade e direção dos ventos nos período de verão e de inverno. Em ambos os períodos, aproximadamente 50% das observações vem do quadrante NE (região composta pelas direções entre N e E), sendo estes ventos associados à influência da ASAS.

No período de verão (Tabela II-1) os ventos mais frequentes vieram de ENE (20,8%) e E (13,2%). As direções com maior velocidade média (6,8 m/s e 6,7 m/s) foram NE e ENE, respectivamente. Os ventos mais intensos registrados foram provenientes de ENE (15,2 m/s) e NE (15,1 m/s).

Tabela II-1 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção (°) do vento (CFSR), para o período de verão de 2004, com intervalo de amostragem dt=1h (convenção meteorológica).

Veloc. (m/s)	D I R E Ç Ã O																Tot.	Perc.	Dir. Méd.
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW			
0.0- 1.0	0	3	1	4	3	4	2	2	4	2	2	3	1	1	3	3	38	1.7	131
1.0- 2.0	5	4	11	15	16	10	3	8	2	5	4	5	4	10	5	6	113	5.2	63
2.0- 3.0	9	5	18	20	18	13	6	10	17	16	19	7	11	7	9	9	194	8.9	120
3.0- 4.0	8	13	21	42	19	13	9	8	24	12	13	6	5	3	11	7	214	9.8	87
4.0- 5.0	5	17	31	34	42	25	34	26	15	16	20	15	8	5	6	2	301	13.8	113
5.0- 6.0	4	19	26	69	49	45	26	34	14	16	10	11	12	3	2	1	341	15.6	103
6.0- 7.0	0	4	47	64	46	23	11	22	23	5	11	15	10	4	1	0	286	13.1	97
7.0- 8.0	1	5	31	77	43	14	14	11	13	3	14	22	5	7	2	0	262	12.0	89
8.0- 9.0	1	4	26	41	27	10	10	14	6	1	3	7	8	1	0	0	159	7.3	88
9.0-10.0	1	5	27	21	12	0	4	7	3	0	3	10	5	0	1	1	100	4.6	72
10.0-11.0	1	1	23	27	9	0	0	6	1	0	0	9	3	2	0	0	82	3.8	64
11.0-12.0	0	2	16	20	2	0	0	2	0	0	0	3	1	1	0	0	47	2.2	56
12.0-13.0	0	4	3	11	3	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	25	1.1	66
13.0-14.0	0	0	3	7	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	13	0.6	48
14.0-15.0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	7	0.3	285
15.0-16.0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.1	57
Total	35	86	286	454	289	157	119	153	122	76	99	115	78	46	40	29	2184		
Porc.	1.6	3.9	13.1	20.8	13.2	7.2	5.4	7.0	5.6	3.5	4.5	5.3	3.6	2.1	1.8	1.3			
Vel. méd.	4.0	5.5	6.8	6.7	5.9	5.0	5.4	5.9	5.0	4.1	4.8	6.4	6.2	5.0	3.5	2.8			
Vel. máx.	10.9	12.9	15.1	15.2	12.2	8.9	9.8	12.6	10.8	8.5	9.8	14.1	14.5	13.6	9.4	9.7			
Perct.(0.9)	7.0	9.0	10.0	10.0	8.0	7.0	8.0	9.0	7.0	6.0	7.0	10.0	10.0	9.8	5.5	4.0			

No período de inverno (Tabela II-2) os ventos mais frequentes vieram de ENE (19,0%) e NE (15,3%). As direções com maior velocidade média (6,9 m/s e 6,7 m/s) foram SSW e ENE, respectivamente. Os ventos mais intensos registrados foram provenientes de SSW (13,1 m/s) e ESE (12,8 m/s).

Tabela II-2 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção (°) do vento (CFSR), para o período de inverno de 2004, com intervalo de amostragem dt=1h (convenção meteorológica).

Veloc. (m/s)	D I R E Ç Ã O																Tot.	Perc.	Dir. Méd.
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW			
0.0- 1.0	2	1	4	5	2	1	1	0	1	2	4	6	5	7	4	3	48	2.2	306
1.0- 2.0	10	10	12	14	7	7	1	2	2	0	0	5	8	9	4	9	100	4.5	16
2.0- 3.0	11	14	17	20	14	12	15	4	7	5	14	8	6	6	10	7	170	7.7	64
3.0- 4.0	19	33	32	27	31	17	27	5	4	15	13	20	11	6	7	8	275	12.5	63
4.0- 5.0	31	51	39	46	19	6	16	10	7	12	22	22	12	5	8	4	310	14.0	45
5.0- 6.0	9	28	48	57	34	26	12	11	8	9	29	15	6	0	3	2	297	13.5	79
6.0- 7.0	16	18	46	43	29	14	7	9	5	6	21	16	0	0	1	1	232	10.5	72
7.0- 8.0	1	20	44	71	24	20	16	10	9	5	20	6	0	0	0	6	252	11.4	81
8.0- 9.0	0	9	46	38	22	27	9	12	6	5	12	11	2	0	0	1	200	9.1	86
9.0-10.0	0	1	28	41	16	14	9	0	5	10	5	15	2	0	0	0	146	6.6	88
10.0-11.0	0	0	16	33	3	6	5	8	4	11	3	4	1	0	0	0	94	4.3	99
11.0-12.0	0	0	5	14	0	6	9	4	4	3	3	6	0	0	0	0	54	2.4	125
12.0-13.0	0	0	0	10	0	5	1	1	2	7	3	0	0	0	0	0	29	1.3	136
13.0-14.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0.0	220
Total	99	185	337	419	201	161	128	76	64	90	150	134	53	33	37	41	2208		
Porc.	4.5	8.4	15.3	19.0	9.1	7.3	5.8	3.4	2.9	4.1	6.8	6.1	2.4	1.5	1.7	1.9			
Vel. méd.	4.2	4.9	6.2	6.7	5.8	6.6	6.0	6.7	6.5	6.9	5.9	5.8	3.8	2.3	3.2	3.7			
Vel. máx.	7.5	9.2	11.9	12.4	10.6	12.8	12.1	12.3	12.2	12.5	13.1	11.4	10.9	4.5	6.6	8.2			
Perct.(0.9)	6.0	7.0	9.0	10.0	8.0	10.0	10.0	10.0	10.1	11.0	8.5	9.0	5.6	4.0	4.8	7.0			

As figuras abaixo ilustram exemplos de instantâneos do campo de vento para a condição mais frequente, vento NE (Figura II-4), e para a passagem de um sistema frontal (Figura II-5).

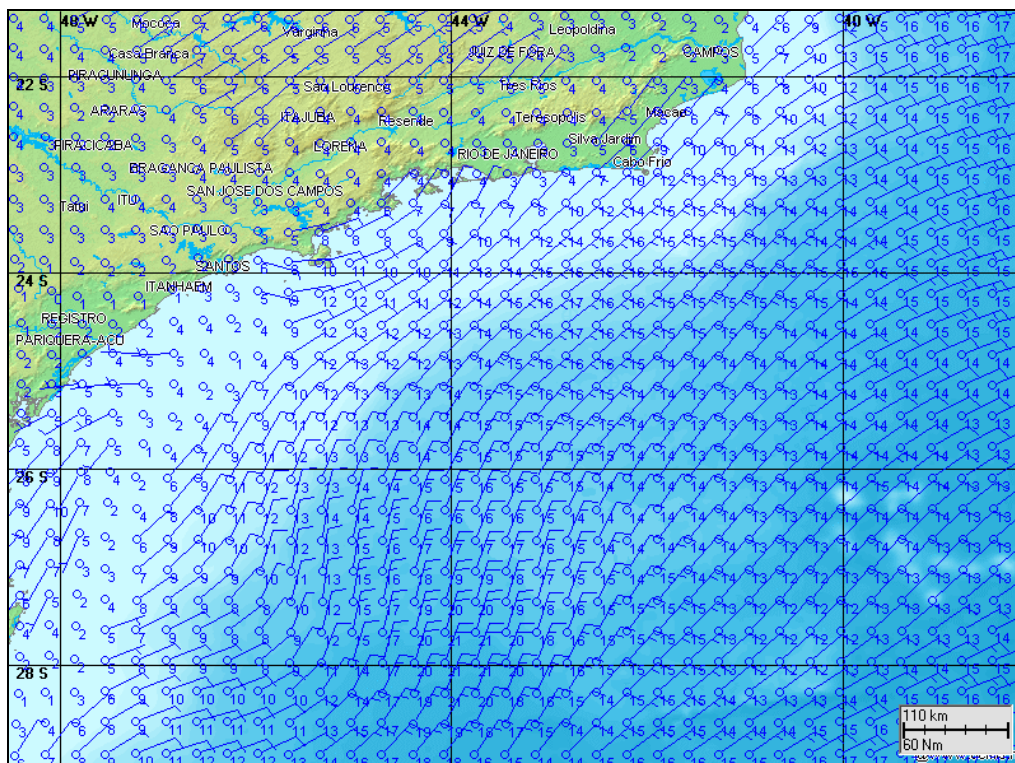


Figura II-4 - Instantâneo do campo de vento utilizado na modelagem de deriva de óleo apresentada neste estudo (condição mais frequente).

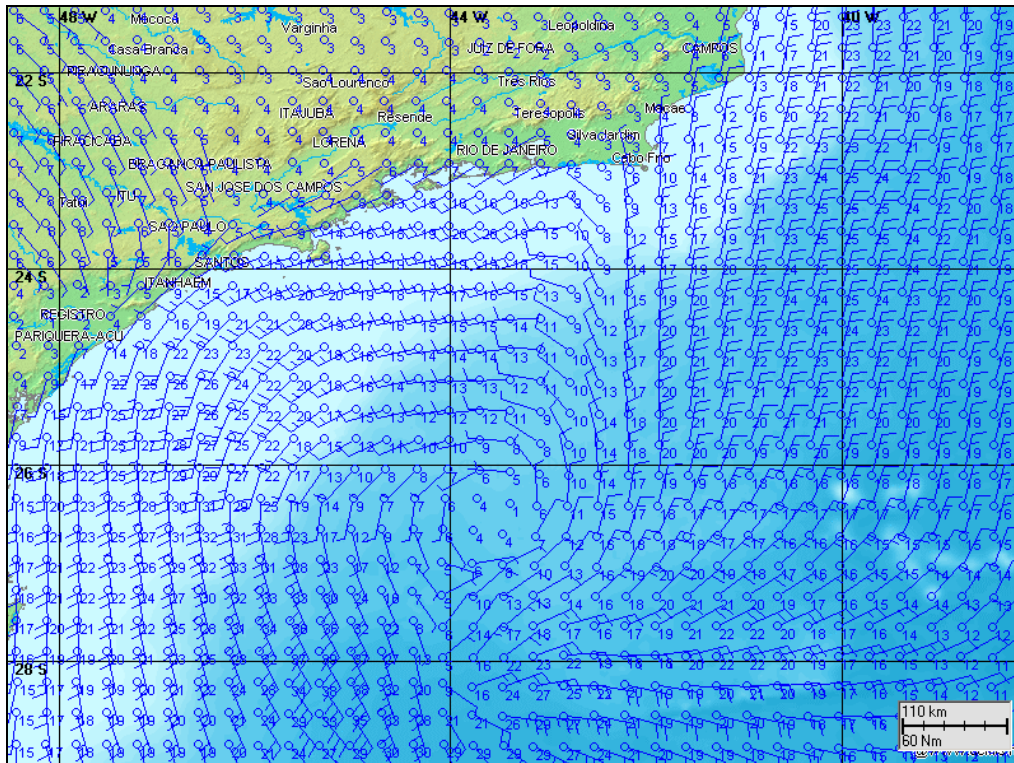


Figura II-5 - Instantâneo do campo de vento utilizado na modelagem de deriva de óleo apresentada neste estudo (passagem de sistema frontal).

II.1.3 Pontos de Modelagem e Volumes de Derrame

A posição geográfica dos pontos de modelagem foi definida pela PETROBRAS e encontra-se apresentada na Tabela II-3. Nesta tabela também se apresenta a lâmina d'água local (em metros).

Tabela II-3 - Coordenadas (SIRGAS2000) dos pontos de modelagem.

PONTOS	LATITUDE	LONGITUDE	LÂMINA D'ÁGUA* (m)
S01	23°45'01,81"S	41°30'01,47"W	~ 198
S04	24°02'31,74"S	44°07'31,40"W	~152
S09	27°22'31,81"S	47°15'01,70"W	~197

Fonte: PETROBRAS.

A hipótese acidental de pior caso adotada neste estudo corresponde ao rompimento dos tanques de armazenamento (2 tanques adjacentes do Navio NT Astro Chloe). O derrame de todo o volume (3.600 m³) foi considerado contínuo ao longo de 24 horas.

II.1.4 Características dos Produtos Utilizados

Com base nas informações disponíveis para a área em estudo foram realizadas simulações com o óleo cru 1-SPS-50. A sua respectiva característica físico-química adotada nas simulações são apresentadas na Tabela II-4. As informações apresentadas foram fornecidas pela PETROBRAS, e complementadas com o banco de dados da TETRA TECH.

Tabela II-4 - Características do óleo 1-SPS-50.

PARÂMETRO	VALOR
Nome do óleo	1-SPS-50
Grau API	27,20
Densidade (g/cm ³)	0,887
Viscosidade dinâmica (cP) a 25°C	85,48
Tensão interfacial (din./cm)	30,00
Ponto de ebulição inicial (K)	450,00
Gradiente da curva de evaporação	660,00
Constante de evaporação A	9,10
Constante de evaporação B	12,80

Fonte: PETROBRAS / TETRA TECH.

II.2 CRITÉRIOS DE PARADA ADOTADOS NAS SIMULAÇÕES

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

Como a duração dos derrames é de 24 horas, as simulações foram conduzidas por 31 dias.

II.3 RESUMO DOS CENÁRIOS SIMULADOS

As simulações para a determinação da dispersão de óleo foram realizadas utilizando-se o modelo OILMAP no modo probabilístico. Neste modo é considerada a variabilidade das forçantes ambientais. Logo, as simulações de comportamento da mancha são realizadas através da variação das condições meteorológicas e oceanográficas, divididas em dois períodos correspondendo ao verão (janeiro a março) e ao inverno (junho a agosto).

Para que se pudesse incorporar a variabilidade dessas forçantes, foi realizada, uma série de 600 simulações determinísticas para cada cenário probabilístico. O número de simulações é definido, através de testes, para incorporar as variabilidades das forçantes oceanográficas e meteorológicas da área de estudo, considerando os recursos computacionais disponíveis e o tempo para execução do trabalho. No Anexo B são apresentados os resultados de testes realizados para a Bacia de Santos.

A Tabela II-5 apresenta um resumo dos cenários simulados neste estudo.

Tabela II-5 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas.

CENÁRIOS	PRODUTO (PETRÓLEO)	VOLUME (m ³)	DURAÇÃO DO DERRAME	TEMPO DE SIMULAÇÃO	ESTAÇÃO DO ANO
S01_VER_PC	1-SPS-50	3.600,00	24 horas	31 dias	Verão
S04_VER_PC	1-SPS-50	3.600,00	24 horas	31 dias	Verão
S09_VER_PC	1-SPS-50	3.600,00	24 horas	31 dias	Verão
S01_INV_PC	1-SPS-50	3.600,00	24 horas	31 dias	Inverno
S04_INV_PC	1-SPS-50	3.600,00	24 horas	31 dias	Inverno
S09_INV_PC	1-SPS-50	3.600,00	24 horas	31 dias	Inverno

III RESULTADOS DA MODELAGEM DE DERRAME DE ÓLEO

Neste capítulo são apresentados os resultados das simulações probabilísticas, determinísticas críticas e determinísticas das condições mais frequentes para potenciais derrames de óleo durante as operações de transporte no Polo Pré-Sal.

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

III.1 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS

O modelo OILMAP foi utilizado para simular os cenários descritos no Item II.3 e produzir as curvas de contorno, demonstrando a probabilidade da presença de óleo em cada ponto da área de estudo.

A Tabela III-1 apresenta a extensão da costa com probabilidade de toque referente aos cenários probabilísticos individuais simulados. A Tabela III-2 apresenta a extensão da costa com probabilidade de toque referente aos cenários probabilísticos integrados. Observa-se que a magnitude da extensão de toque na costa varia conforme a sazonalidade e a localização do ponto de modelagem. A maior extensão de costa atingida pelo óleo foi de, aproximadamente, 2.510,5 km, resultante do derrame do ponto S04, durante o período de verão. No inverno a maior extensão de toque (2.245,1 km) é resultante do cenário do ponto S01.

Tabela III-1 - Extensão da costa com probabilidade de toque para os cenários individuais.

CENÁRIOS	EXTENSÃO DE TOQUE NA COSTA (km)
S01_VER_PC	2.073,4
S04_VER_PC	2.510,5
S09_VER_PC	1.986,0
S01_INV_PC	2.245,1
S04_INV_PC	1.906,0
S09_INV_PC	954,0

Tabela III-2 - Extensão da costa com probabilidade de toque para os cenários integrados.

CENÁRIOS	EXTENSÃO DE TOQUE NA COSTA (km)
INTEGRADO_VER_PC	3.386,0
INTEGRADO_INV_PC	2.738,4

Na Tabela III-3 apresentam-se 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, referente aos cenários probabilísticos. O menor tempo de toque calculado (69 horas – Ilha do Xavier, Florianópolis - SC) refere-se ao cenário de inverno simulado para o ponto S09. No verão o menor tempo (70 horas, Saquarema - RJ) foi identificado para o cenário do ponto S01.

Tabela III-3 - Resumo dos resultados da modelagem probabilística.

CENÁRIOS	TEMPO MÍNIMO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	PERCENTAGEM DE SIMULAÇÕES COM TOQUE NA COSTA (%)	MUNICÍPIO DE PRIMEIRO TOQUE
S01_VER_PC	70	456,9	42,3	Saquarema - RJ
S04_VER_PC	122	417,7	88,2	Ilhabela - SP
S09_VER_PC	79	318,7	89,0	Ilhas Moleques do Sul – Florianópolis - SC
S01_INV_PC	78	430,4	45,5	Ilha do Cabo Frio - Arraial do Cabo - RJ
S04_INV_PC	76	366,5	81,8	Ilha da Vitória – Ilhabela - SP
S09_INV_PC	69	405,8	31,3	Ilha do Xavier – Florianópolis - SC

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

As ilustrações dos contornos de tempo correspondem ao tempo mínimo de deslocamento de óleo na água calculado (para cada posição da grade) entre todos os cenários determinísticos que compõem o cenário probabilístico. Nestas ilustrações são apresentados os tempos de 2, 6, 12, 36 e 60 horas após o início do derrame, selecionados de acordo com o tempo máximo para a disponibilização de recursos de contenção/limpeza no local da ocorrência da descarga

especificados na Resolução do CONAMA no 398/08 (Brasil, 2008). Para tempos superiores a estes, foram selecionados intervalos que melhor se adequaram à visualização da evolução dos derrames na área de estudo.

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

III.1.1 Simulações Probabilísticas – Verão

Nas Figuras III-1 a III-9 são apresentados os resultados das simulações probabilísticas de verão. Os resultados são apresentados individualmente e integrados. A extensão de toque na costa variou de 1.986,0 km a 2.510,5 km, e a maior probabilidade de toque calculada foi de 35%.

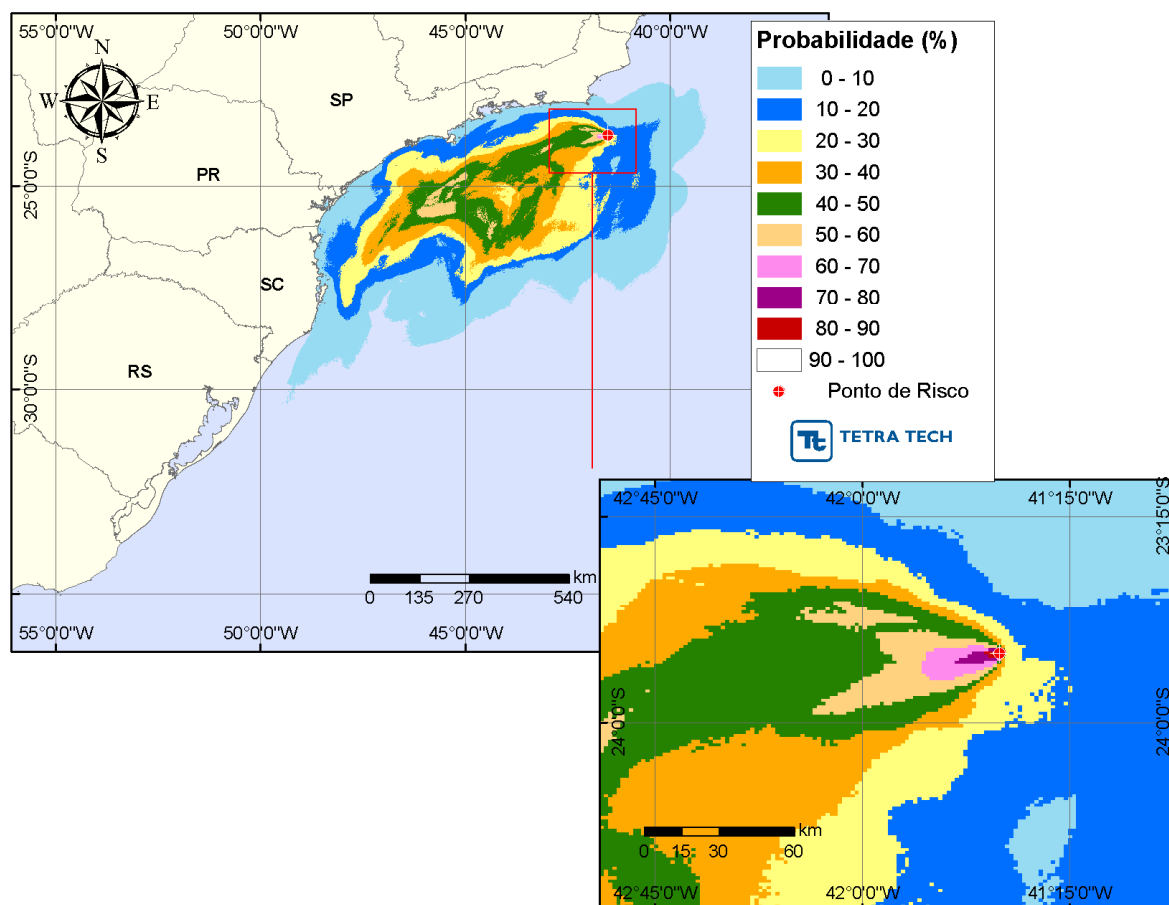


Figura III-1 - Cenário S01_VER_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do ponto S01, no Polo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 3.600,0 m³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação.

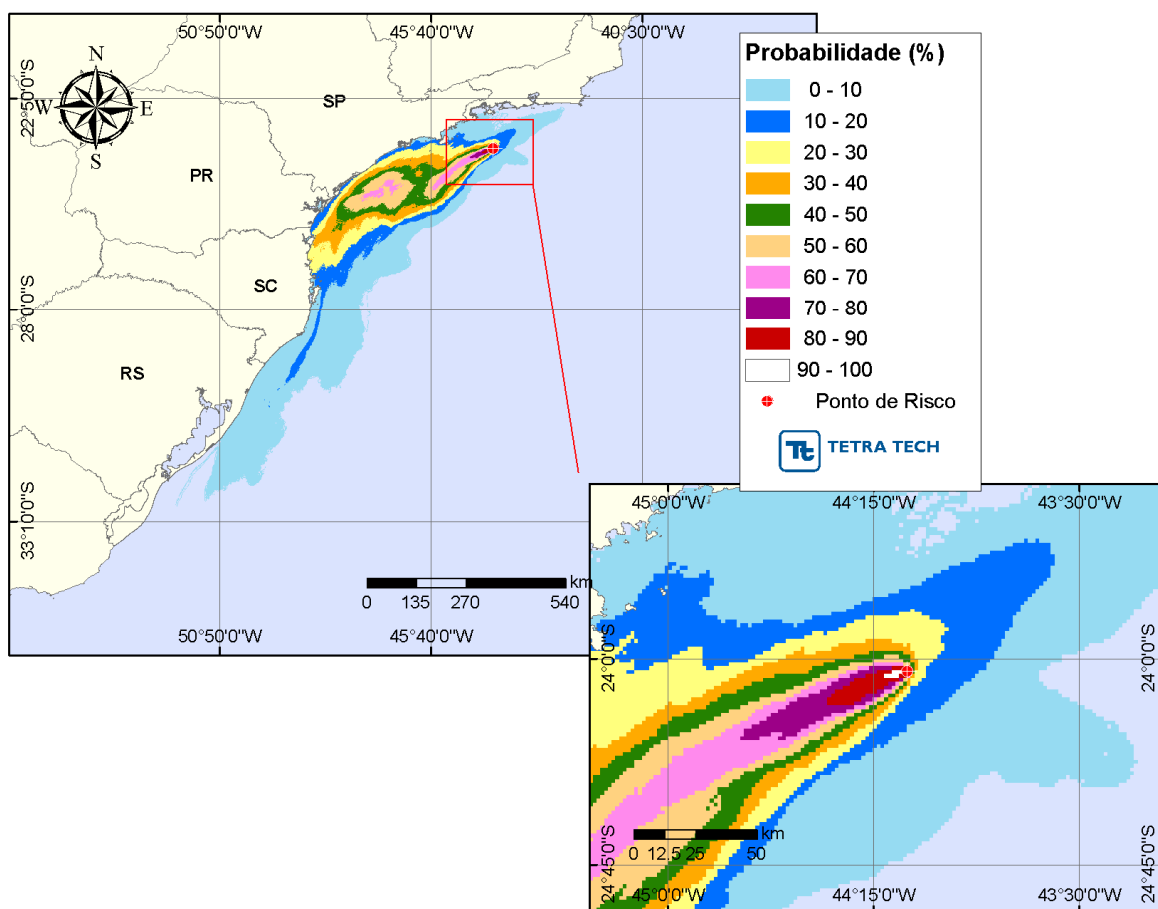


Figura III-2 - Cenário S04_VER_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do ponto S04, no Polo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 3.600,0 m³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação.

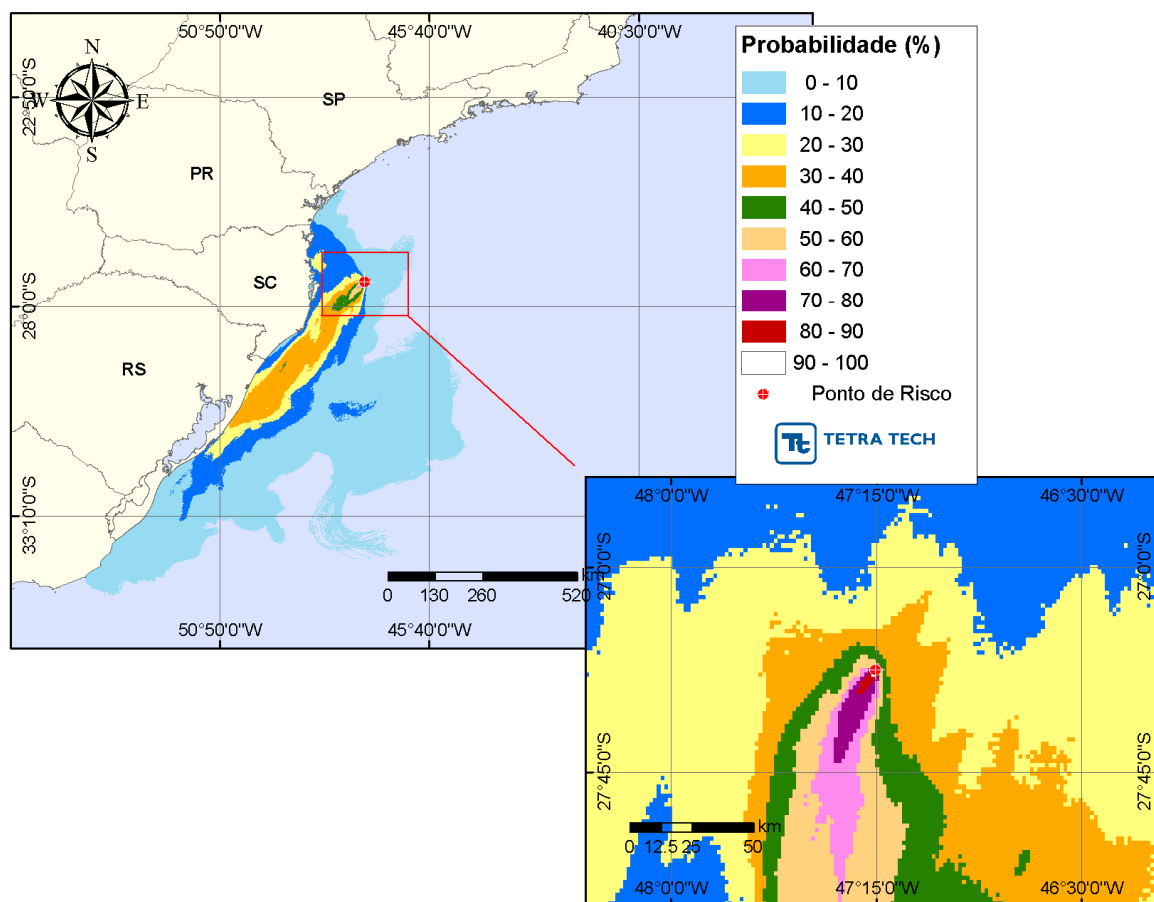


Figura III-3 - Cenário S09_VER_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do ponto S09, no Polo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 3.600,0 m³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação.

A Figura III-4 apresenta a área total com probabilidade de óleo na água, através da sobreposição dos contornos de probabilidade obtidos para cada um dos três cenários de verão simulados neste estudo.

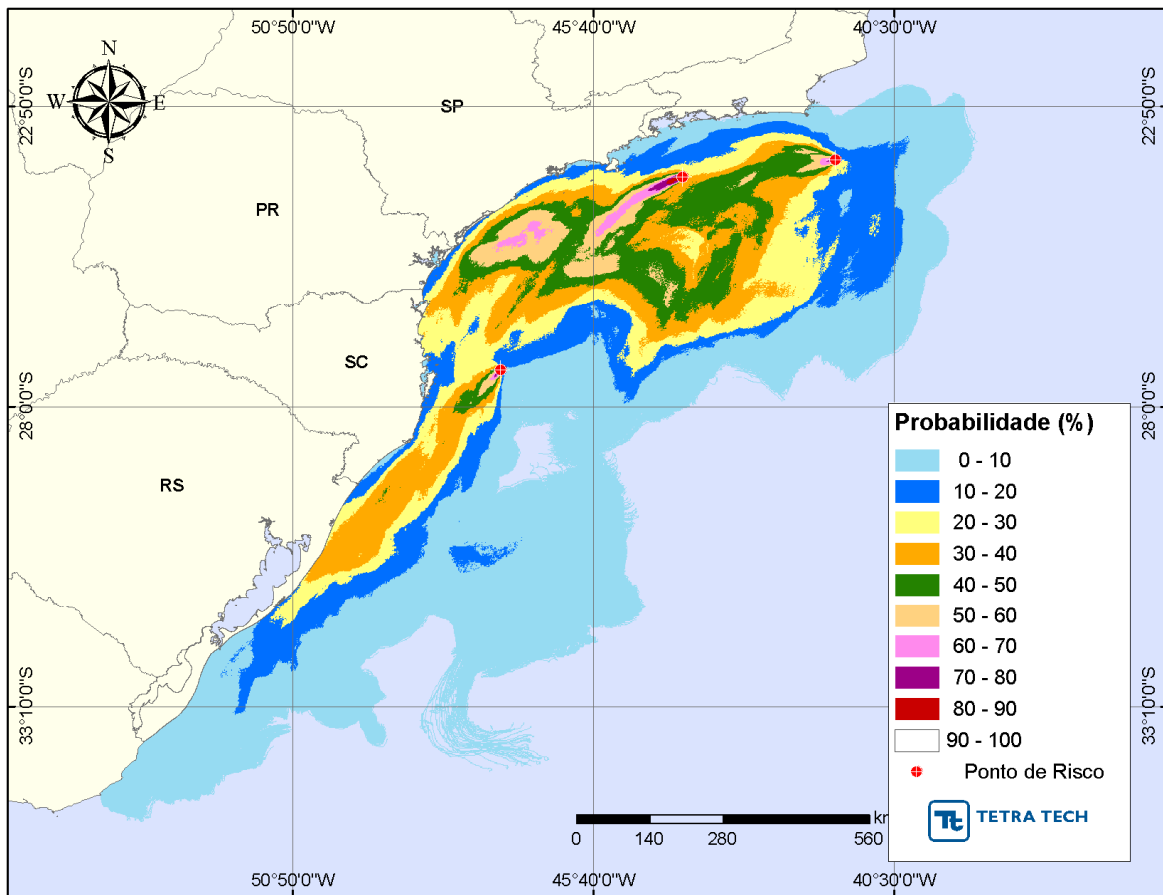


Figura III-4 - Área total com probabilidade de óleo na água para o Polo Pré-Sal, decorrente de derrames de volume de pior caso, durante os meses de verão (janeiro a março).

A Figura III-5 apresenta a região da linha de costa com probabilidade de toque, através da sobreposição dos resultados obtidos 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 3.386,0 km do Município de Armação dos Búzios (RJ) até o litoral do Uruguai. As maiores com probabilidades de toque na costa (35%) ocorreram no Parque Estadual Marinho de Santos (SP) e em Itanhaém – Ilha da Queimada Grande (SP).

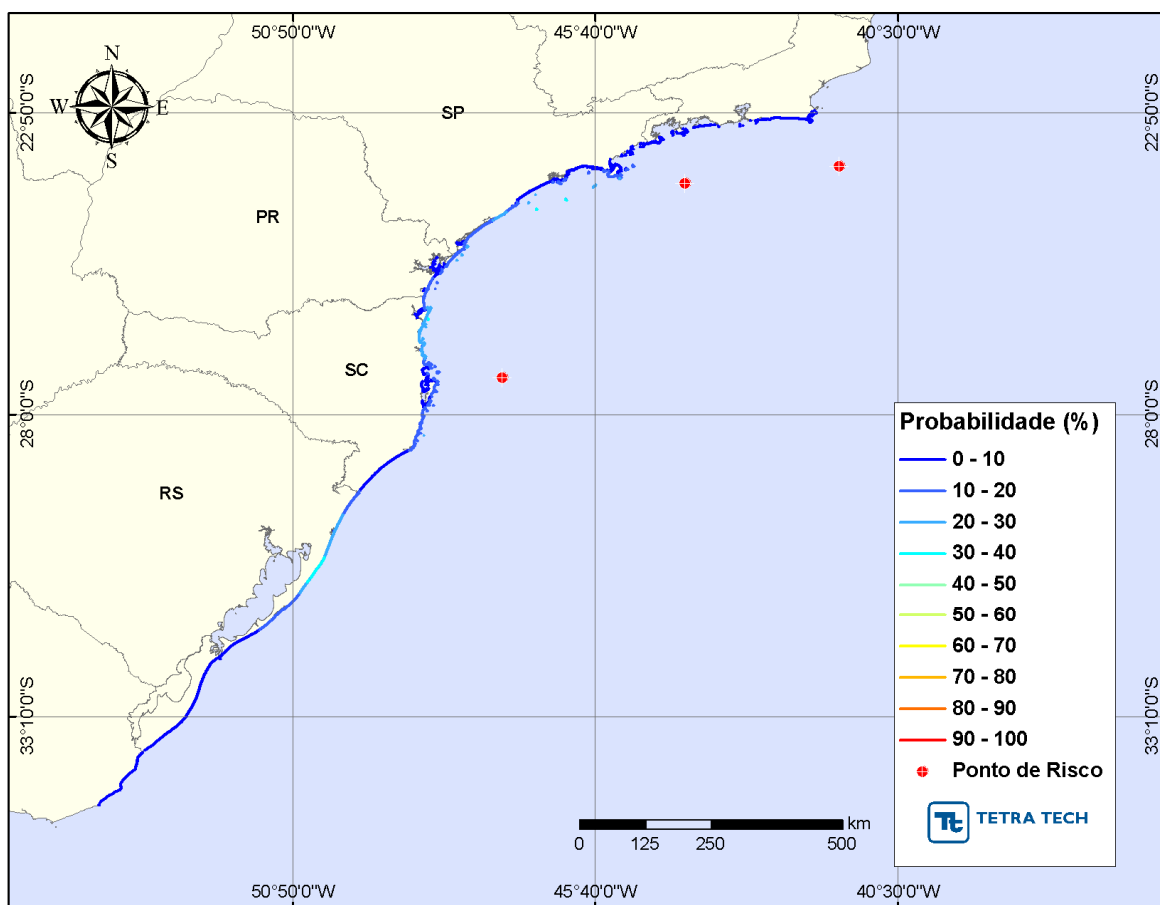


Figura III-5 - Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para o Polo Pré-Sal, decorrente de derrames de volume de pior caso, durante os meses de verão (janeiro a março).

A Figura III-6 apresenta os contornos de tempo do deslocamento de óleo na água, através da sobreposição dos resultados obtidos para os três cenários simulados durante o verão.

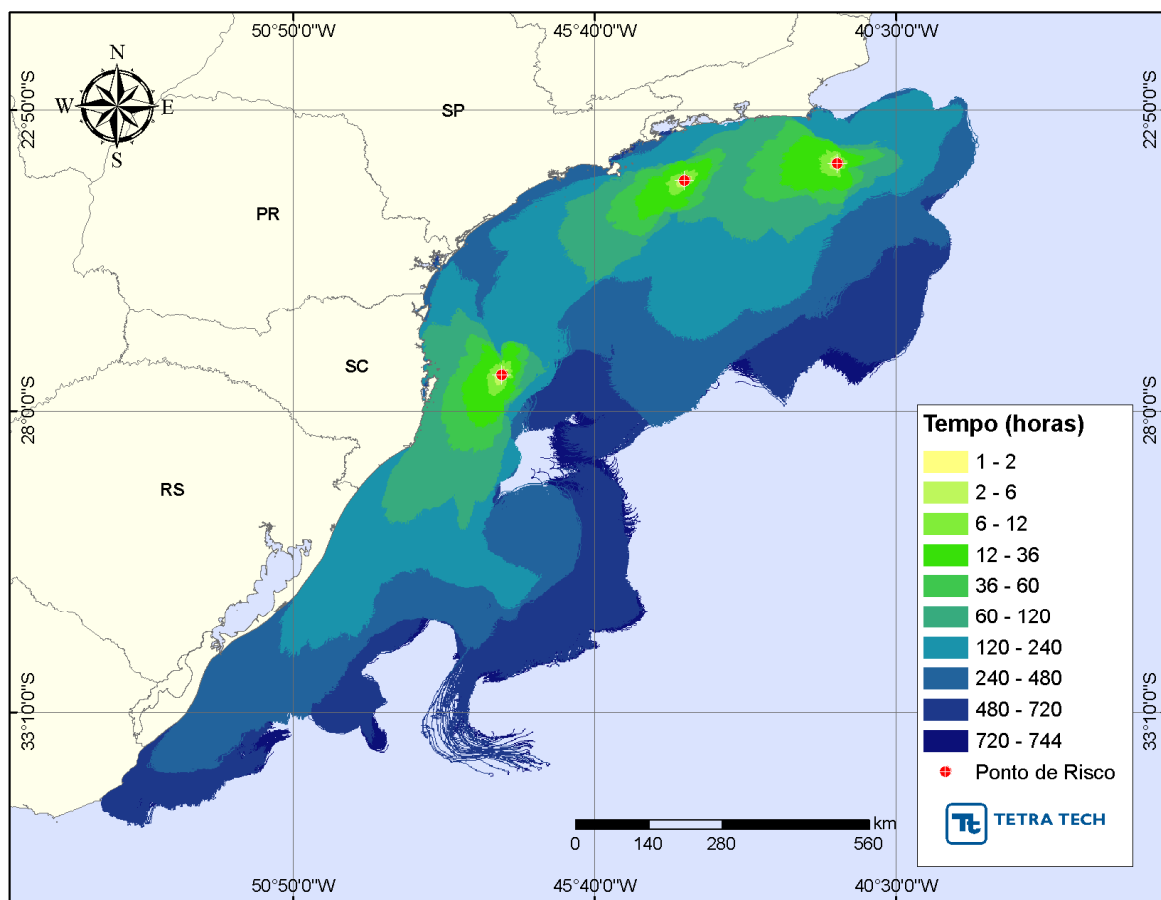


Figura III-6 - Tempo de deslocamento de óleo na água para o Polo Pré-Sal, decorrente de derrames de volume de pior caso, durante os meses de verão (janeiro a março).

A Figura III-7 apresenta os volumes máximos de óleo por metro de costa, através da sobreposição dos volumes máximos de óleo na costa obtidos para cada um dos três cenários simulados em condições de verão.

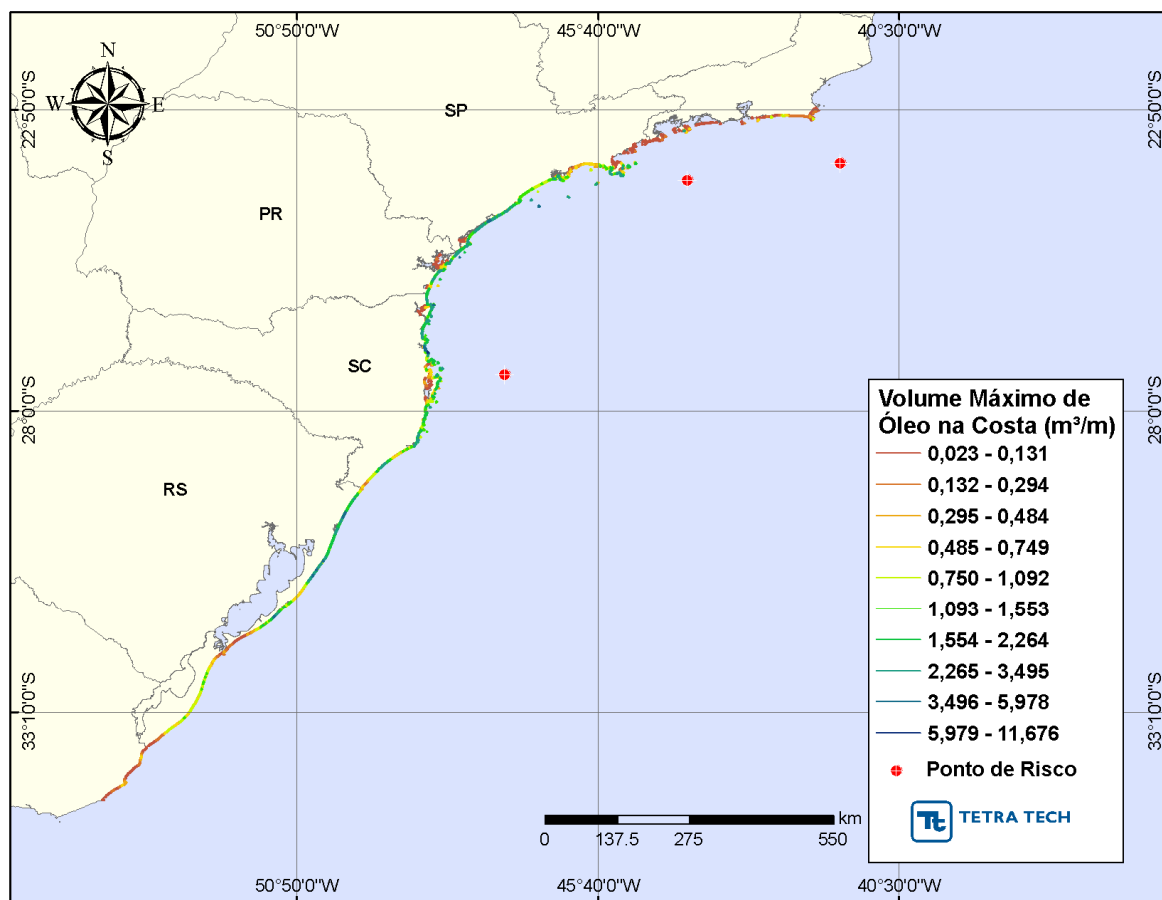


Figura III-7 - Volume máximo de óleo (m^3) por metro de costa para o Polo Pré-Sal, decorrente de derrames de volume de pior caso, durante os meses de verão (janeiro a março).

A Tabela III-4 apresenta a probabilidade de toque, o tempo mínimo de toque na linha de costa e o volume máximo por metro de costa para os municípios com probabilidade de toque, para o período de verão. Esta tabela considera a integração de todos os cenários simulados. No verão, o Município de Saquarema (RJ) destaca-se com o menor tempo de toque (70 horas) e o Município de Balneário Camboriú com o maior volume de óleo na costa ($6,952 m^3/m$).

Tabela III-4 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume de pior caso, no Polo Pré-Sal, no período de verão.

	MUNICÍPIO	PROBABILIDADE DE ÓLEO NA COSTA (%)	TEMPO MÍNIMO DE TOQUE NA COSTA (HORAS)	MÁXIMO VOLUME NA COSTA (m ³ /m)
RJ	Armação dos Búzios/Ilha do Breu	1	231	0,028
	Armação dos Búzios/Ilha dos Pargos	2	233	0,056
	Armação dos Búzios	1	256	0,028
	Cabo Frio/Ilha Comprida	2	219	0,140
	Cabo Frio/Ilha do Papagaio	2	238	0,140
	Cabo Frio	2	241	0,140
	Arraial do Cabo/Ilha dos Porcos	3	250	0,141
	Arraial do Cabo/Ilha Cabo Frio	3	209	0,840
	Arraial do Cabo	3	205	0,335
	Araruama	3	75	0,254
	Saquarema	4	70	0,757
	Maricá/Ilhas Maricas	5	99	0,506
	Maricá	4	96	1,081
	Niterói	2	243	0,028
	Rio de Janeiro/Ilha Rasa	4	128	0,168
	Rio de Janeiro/Ilha Redonda	3	132	0,059
	Rio de Janeiro/Ilhas da Cagarras	1	137	0,029
	Rio de Janeiro/Ilha de Guaratiba	1	190	0,029
	Rio de Janeiro	1	209	0,029
	Itaguaí/Restinga da Marambaia	3	173	0,057
	Mangaratiba/Restinga da Marambaia	2	200	0,086
	Angra dos Reis	4	199	0,714
	Angra dos Reis/Ilha Jorge Grego	4	199	0,714
Angra dos Reis/Ilha Grande	4	202	3,200	
Parati	3	396	0,156	
SP	Ubatuba/Ilha das Couves	3	445	0,080
	Ubatuba/Ilha Comprida	2	449	0,053
	Ubatuba/Ilha Anchieta	3	447	0,106
	Ubatuba/Ilha do Mar Virado	1	498	0,077
	Ubatuba	2	396	0,101
	Caraguatatuba	1	221	0,050
	Ilhabela	21	122	3,324
	Ilhabela/Ilha dos Búzios	16	165	1,997
	Ilhabela/Ilha Sumitica	15	172	0,227
	São Sebastião/Arq. Alcatrazes	26	134	2,933
	São Sebastião/Ilha do Toque Toque	15	419	1,029
	São Sebastião	12	210	2,057

(continua)

Tabela III-4 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume de pior caso, no Polo Pré-Sal, no período de verão (continuação).

MUNICÍPIO		PROBABILIDADE DE ÓLEO NA COSTA (%)	TEMPO MÍNIMO DE TOQUE NA COSTA (HORAS)	MÁXIMO VOLUME NA COSTA (m ³ /m)
SP	Bertioga	8	398	0,607
	Guarujá/Ilha da Moela	15	334	1,400
	Guarujá	15	319	2,714
	Parq Est. Marin Laje de Santos	35	152	3,316
	Santos	8	514	2,367
	São Vicente	8	400	2,367
	Santos/Ilha de Urubuqueçaba	8	514	2,367
	Praia Grande	11	308	2,439
	Mongaguá	10	287	1,219
	Peruíbe/ Laje da Conceição	21	275	0,837
	Itanhaém/Ilha Queimada Grande	35	200	3,587
	Itanhaém/Ilha Queimada Pequena	25	269	3,063
	Itanhaém	10	280	1,478
	Peruíbe/Ilha do Guarau	16	286	2,864
	Peruíbe	18	287	2,052
	Iguape	24	298	3,113
	Ilha Comprida	19	307	5,492
	Cananéia/Ilha do Bom Abrigo	23	291	1,953
	Cananéia/Ilha do Castilho	24	260	1,962
	Cananéia/Ilha do Cambriu	19	286	3,154
Cananéia	18	258	3,206	
PR	Guaraqueçaba	16	261	3,075
	Guaraqueçaba / Ilha do Castilho	24	260	1,962
	Guaraqueçaba / Ilha Grande	1	535	0,025
	Guaraqueçaba / Ilha da Figueira	22	251	4,473
	Guaraqueçaba / Ilha Rasa	1	688	0,053
	Guaraqueçaba / Ilha das Peças	10	315	2,229
	Paranaguá	2	432	0,131
	Paranaguá / Ilha das Bananas	3	432	0,026
	Paranaguá / Ilha das Cobras	1	580	0,026
	Paranaguá / Ilhas das Palmas	13	313	0,495
	Paranaguá / Ilha Rasa da Cotinga	1	445	0,027
	Paranaguá / Ilha do Mel	13	244	1,705
	Paranaguá / Ilha da Galheta	12	264	1,296
	Pontal do Paraná	13	314	3,092
	Pontal do Paraná / Ilhas Currais	17	240	2,163
	Matinhos	17	328	2,712

(continua)

Tabela III-4 - - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume de pior caso, no Polo Pré-Sal, no período de verão (continuação).

MUNICÍPIO		PROBABILIDADE DE ÓLEO NA COSTA (%)	TEMPO MÍNIMO DE TOQUE NA COSTA (HORAS)	MÁXIMO VOLUME NA COSTA (m ³ /m)
PR	Matinhos / Ilhas Itacolomis	19	241	0,701
	Guaratuba	17	325	2,125
	Guaratuba / Ilha Saí	13	325	2,125
SC	Itapoá	20	347	2,863
	Itapoá / Ilha Fora de Itapema	17	357	2,223
	São Francisco do Sul	30	227	3,363
	São Francisco do Sul / Pedra do Lobo	28	218	1,199
	São Francisco do Sul / Pedra da Baleia	30	218	1,199
	São Francisco do Sul / Pedra do Itacolomi	28	267	1,432
	São Francisco do Sul / Ilhota São Luís	29	224	5,136
	São Francisco do Sul / Ilha da Paz	29	224	5,136
	São Francisco do Sul / Ilha da Velha	29	224	5,136
	São Francisco do Sul / Ilha da Sororoca Pequena	29	224	5,136
	São Francisco do Sul / Ilha da Sororoca Grande	29	224	5,136
	São Francisco do Sul / Ilha Iriri	13	359	0,423
	São Francisco do Sul / Pedra do Baiacu	11	359	0,485
	São Francisco do Sul / Pedra da Corvina	28	261	0,572
	São Francisco do Sul / Ilha Mandigituba	28	253	0,774
	São Francisco do Sul / Pedra do Filhote do Cação	28	280	0,572
	São Francisco do Sul / Pedra do Cação	28	256	0,572
	São Francisco do Sul / Ilha do Alvarenga	2	388	0,026
	São Francisco do Sul / Ilha do Ferreira	3	395	0,026
	São Francisco do Sul / Ilha Murta	2	401	0,051
	São Francisco do Sul / Ilha dos Herdeiros	2	401	0,051
	São Francisco do Sul / Ilha do Maracujá	2	397	0,026
	São Francisco do Sul / Ilha do Cação	2	397	0,026
	São Francisco do Sul / Ilha Pernambuco	2	397	0,026
	São Francisco do Sul / Ilha do Araujo de Fora	2	396	0,051
	São Francisco do Sul / Ilha do Araujo do Meio	2	396	0,051
	São Francisco do Sul / Ilha do Araujo de Dentro	2	396	0,051
	São Francisco do Sul / Ilha Tamboretas	32	220	2,647
	Balneário Barra do Sul	27	139	2,862
	Balneário Barra do Sul / Ilha Araras	29	233	3,111
	Balneário Barra do Sul / Ilha Remédio	28	262	3,111
	Balneário Barra do Sul / Ilha Feia	28	136	2,114

(continua)

Tabela III-4 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume de pior caso, no Polo Pré-Sal, no período de verão (continuação).

MUNICÍPIO		PROBABILIDADE DE ÓLEO NA COSTA (%)	TEMPO MÍNIMO DE TOQUE NA COSTA (HORAS)	MÁXIMO VOLUME NA COSTA (m ³ /m)
SC	Balneário Barra do Sul / Ilha Tipitinga	30	129	1,722
	Balneário Barra do Sul / Ilha dos Lobos	30	125	2,226
	Araquari	26	138	1,986
	Barra Velha	27	131	3,067
	Barra Velha / Ilhas Itacolomis	30	121	1,171
	Piçarras	27	126	2,934
	Piçarras / Ilha Feia	29	121	1,292
	Penha	30	115	2,185
	Navegantes	25	125	4,176
	Itajaí	28	124	5,355
	Balneário Camboriú	27	113	6,952
	Itapema	20	117	2,095
	Bombinhas	19	100	1,932
	Bombinhas / Ilha da Galé	19	96	1,833
	Bombinhas / Ilha do Amendoim	15	100	1,148
	Bombinhas / Ilha Deserta	17	86	3,033
	Bombinhas / Ilha do Arvoredo	16	89	2,130
	Porto Belo	20	113	1,932
	Porto Belo / Ilha João da Cunha	14	301	1,178
	Tijucas	6	124	1,156
	Florianópolis	15	83	2,792
	Florianópolis / Ilhas Moleques do Norte	12	379	0,178
	Florianópolis / Ilha do Francês	10	115	0,914
	Florianópolis / Ilha Mara Fome	10	377	0,257
	Florianópolis / Ilha do Badejo	12	382	0,153
	Florianópolis / Ilha Ratoões Grande	3	134	0,101
	Florianópolis / Ilha das Aranhas	17	79	1,084
	Florianópolis / Ilha Ratoões Pequena	2	141	0,027
	Florianópolis / Ilha do Xavier	15	79	0,318
	Florianópolis / Ilha do Campeche	12	91	1,897
	Florianópolis / Ilha Irmã Pequena	13	88	0,897
	Florianópolis / Ilha Irmã de Fora	15	84	0,786
	Florianópolis / Ilha Moleques do Sul	17	79	1,470
Florianópolis / Ilha Irmã do Meio	14	86	0,961	
Governador Celso Ramos	9	106	0,727	
Governador Celso Ramos / Ilha de Ganchos	11	104	0,565	

(continua)

Tabela III-4 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume de pior caso, no Polo Pré-Sal, no período de verão (continuação).

MUNICÍPIO		PROBABILIDADE DE ÓLEO NA COSTA (%)	TEMPO MÍNIMO DE TOQUE NA COSTA (HORAS)	MÁXIMO VOLUME NA COSTA (m ³ /m)
SC	Governador Celso Ramos / Ilha das Palmas	9	109	0,592
	Governador Celso Ramos / Ilha de Anhatomirim	2	124	0,412
	Biguaçu	1	138	0,404
	São José	1	149	0,226
	Palhoça	14	97	1,455
	Paulo Lopes	12	101	1,974
	Paulo Lopes / Ilha do Coral	16	90	2,384
	Garopaba	15	103	1,923
	Garopaba / Ilhota do Siri	12	108	0,722
	Imbituba	16	99	1,981
	Imbituba / Ilha do Batuba	14	103	1,530
	Imbituba / Ilha Santana Norte	14	99	1,146
	Imbituba / Ilha Santana Sul	16	104	0,796
	Imbituba / Ilha das Araras	18	100	1,536
	Imbituba / Ilha Tacami	23	89	1,239
	Laguna	19	103	3,258
	Laguna / Ilha dos Lobos	18	101	1,036
	Jaguaruna	10	145	1,236
	Içara	7	184	1,926
	Araranguá	8	194	3,167
	Balneário Arroio do Silva	8	208	2,752
	Balneário Gaivota	9	208	1,081
Passo de Torres	11	196	0,544	
RS	Torres	14	196	1,779
	Torres / Ilha dos Lobos	12	192	0,336
	Arroio do Sal	16	201	2,880
	Terra de Areia	17	208	2,036
	Capão da Canoa	23	206	4,576
	Xangri-Lá	24	208	4,064
	Osório	24	208	2,461
	Imbé	25	205	2,767
	Tramandaí	26	210	2,844
Cidreira	28	211	2,016	

(continua)

Tabela III-4 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume de pior caso, no Polo Pré-Sal, no período de verão (continuação).

MUNICÍPIO		PROBABILIDADE DE ÓLEO NA COSTA (%)	TEMPO MÍNIMO DE TOQUE NA COSTA (HORAS)	MÁXIMO VOLUME NA COSTA (m ³ /m)
RS	Balneário Pinhal	28	206	2,076
	Palmares do Sul	32	204	2,032
	Mostardas	33	209	5,124
	Tavares	19	234	2,903
	São José do Norte	18	284	4,613
	Rio Grande	10	361	1,143
	Santa Vitória do Palmar	9	421	1,316
	Santa Vitória do Palmar / Lagoa Mangureira	8	495	0,479

III.1.2 Simulações Probabilísticas – Inverno

Da Figura III-8 a Figura III-14 são apresentados os resultados das simulações probabilísticas de derrame de óleo para os meses de inverno. Os resultados são apresentados individualmente e integrados. A extensão de toque na costa variou de 954,0 km a 2.245,1 km, e a maior probabilidade de toque calculada foi de 35%.

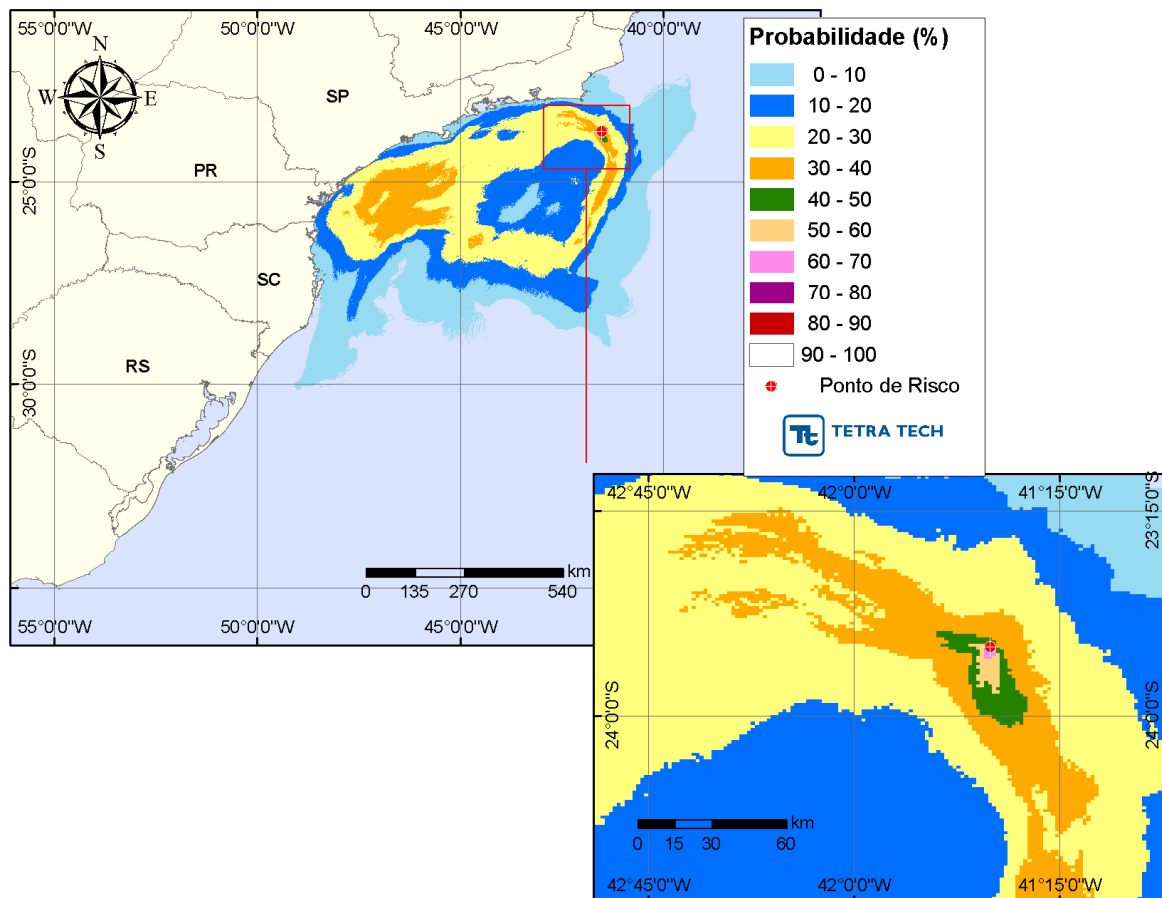


Figura III-8 - Cenário S01_INV_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do ponto S01, no Polo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 3.600,0 m³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação .

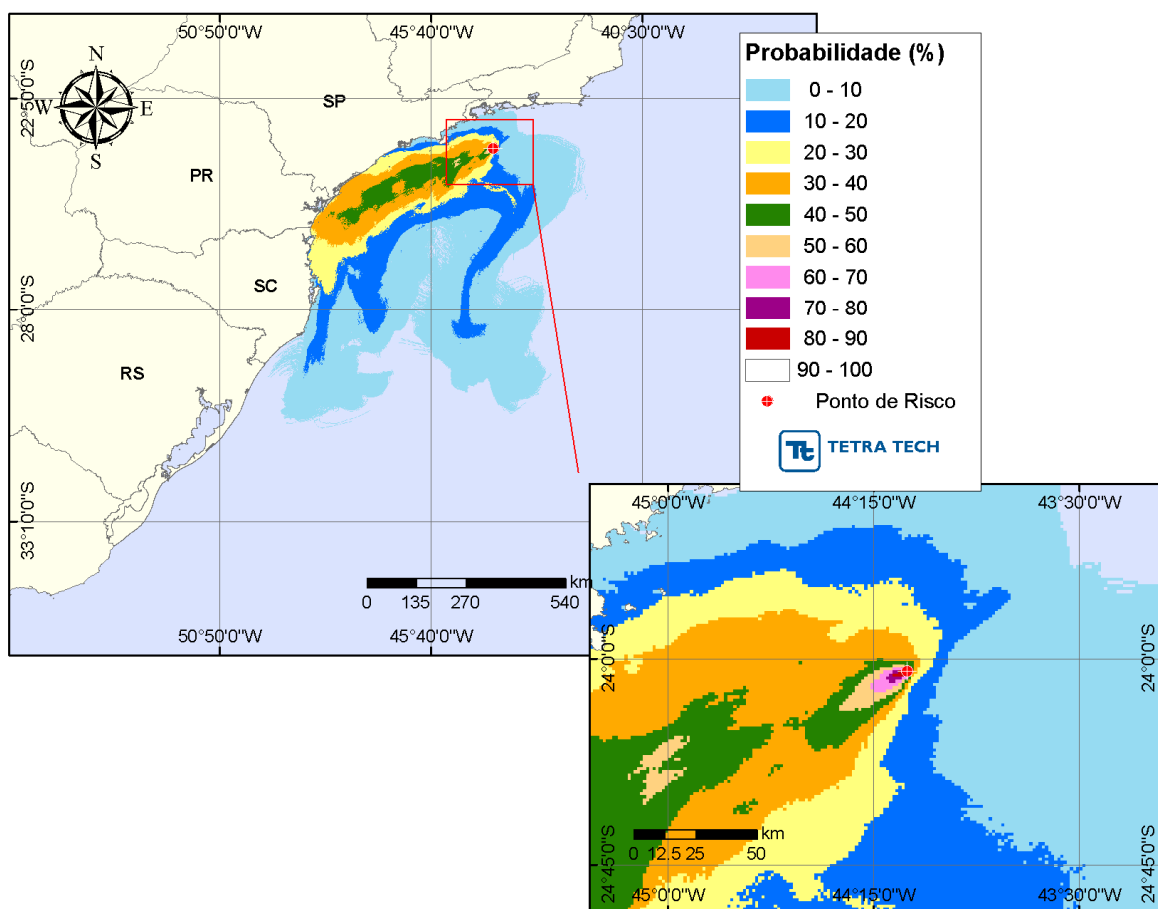


Figura III-9 - Cenário S04_INV_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do ponto S04, no Polo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 3.600,0 m³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação.

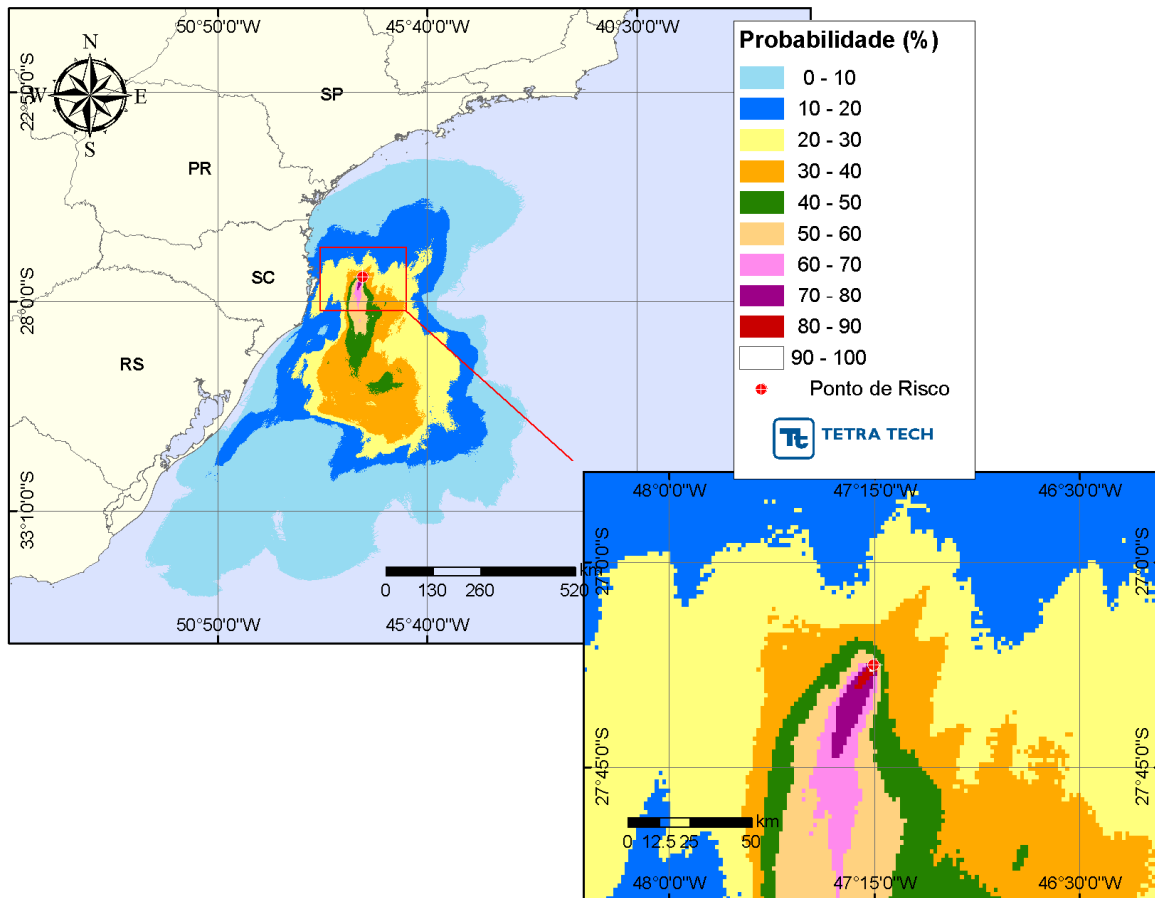


Figura III-10 - Cenário S09_INV_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do ponto S09, no Polo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 3.600,0 m³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação.

A Figura III-11 apresenta a área total com probabilidade de óleo na água, através da sobreposição dos contornos de probabilidade obtidos para cada um dos três cenários de inverno, apresentados nas figuras acima.

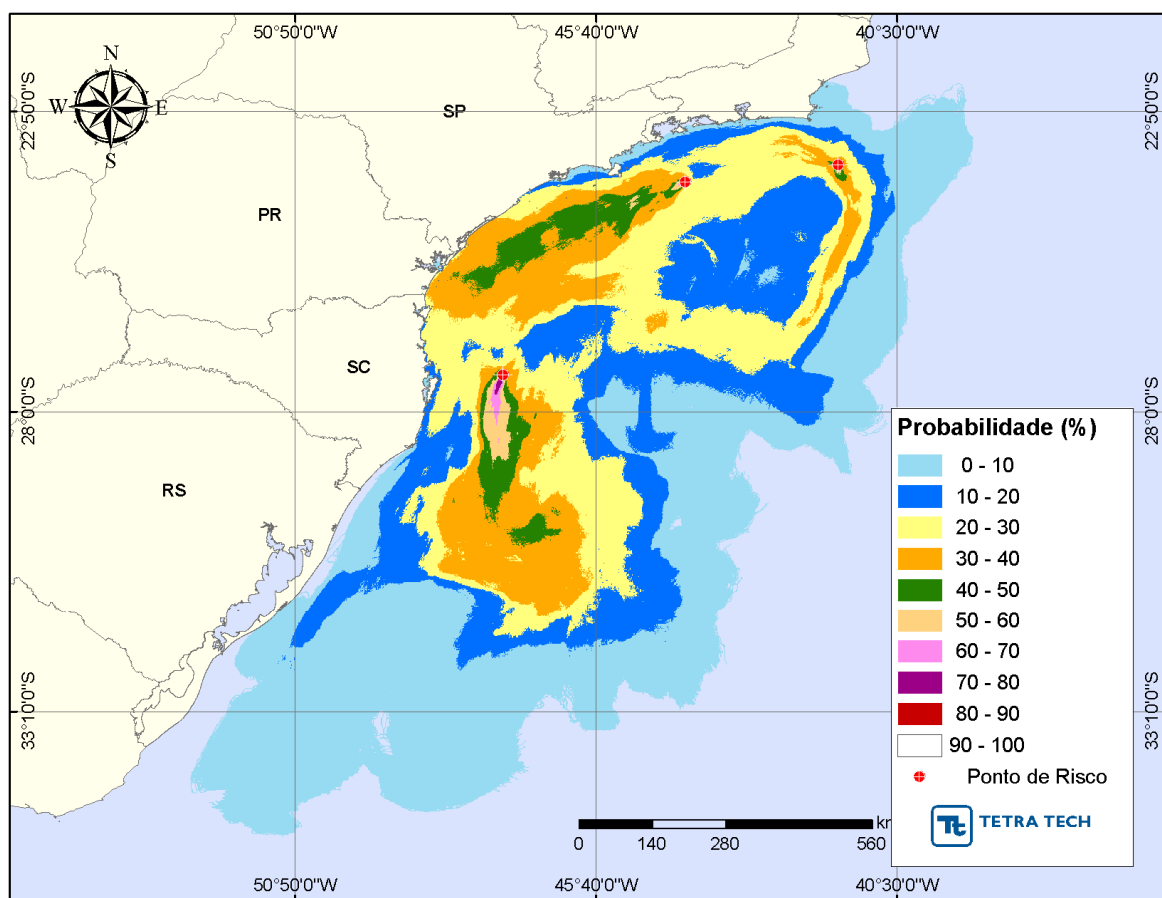


Figura III-11 - Área total com probabilidade de óleo na água para o Polo Pré-Sal, decorrente de derrames de volume de pior caso, durante os meses de inverno (junho a agosto).

A Figura III-12 apresenta a região da linha de costa com probabilidade de toque, através da sobreposição dos resultados obtidos para cada uma dos três cenários simulados 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 2.738,4 km do Município de Macaé (RJ) até o São José do Norte (RS). As maiores com probabilidades de toque na costa (35%) ocorreram no Parque Estadual Marinho de Santo (SP).

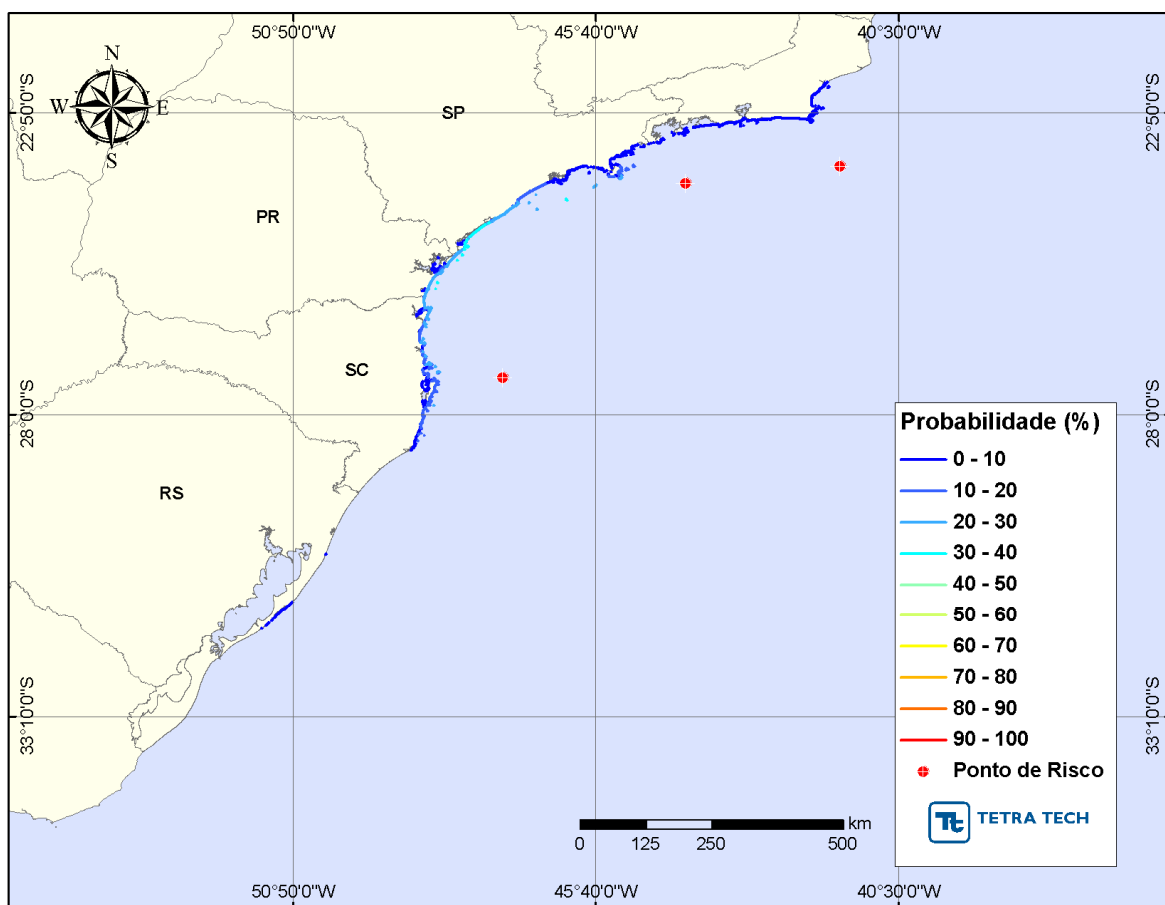


Figura III-12 - Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para o Polo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo volume de pior caso, durante os meses de inverno (junho a agosto).

A Figura III-13 apresenta os contornos de tempo do deslocamento de óleo na água, através da sobreposição dos resultados obtidos para os três cenários simulados durante o inverno.

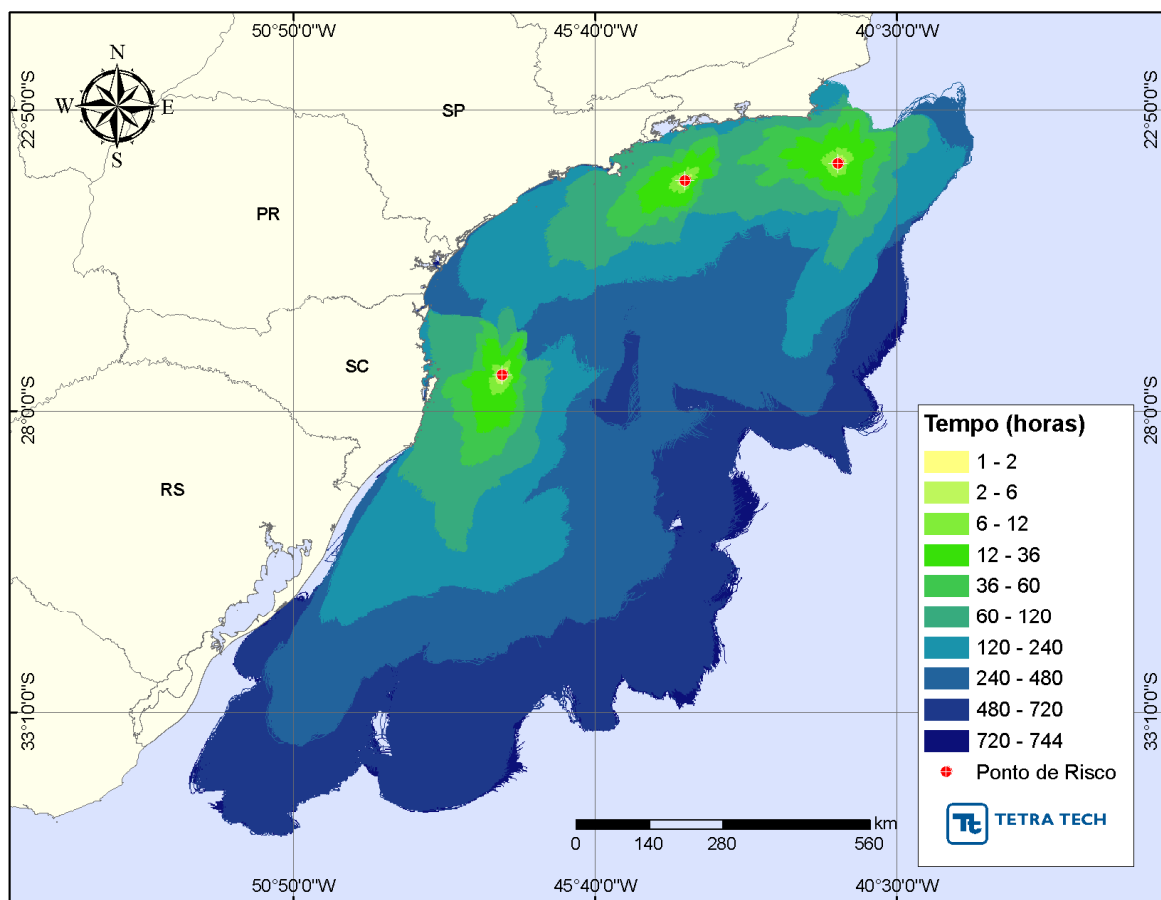


Figura III-13 - Tempo de deslocamento de óleo na água para o Polo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo volume de pior caso, durante os meses de inverno (junho a agosto).

A Figura III-7 apresenta os volumes máximos de óleo por metro de costa, através da sobreposição dos volumes máximos de óleo na costa obtidos para cada um dos três cenários simulados para o Polo Pré-Sal, em condições de inverno.

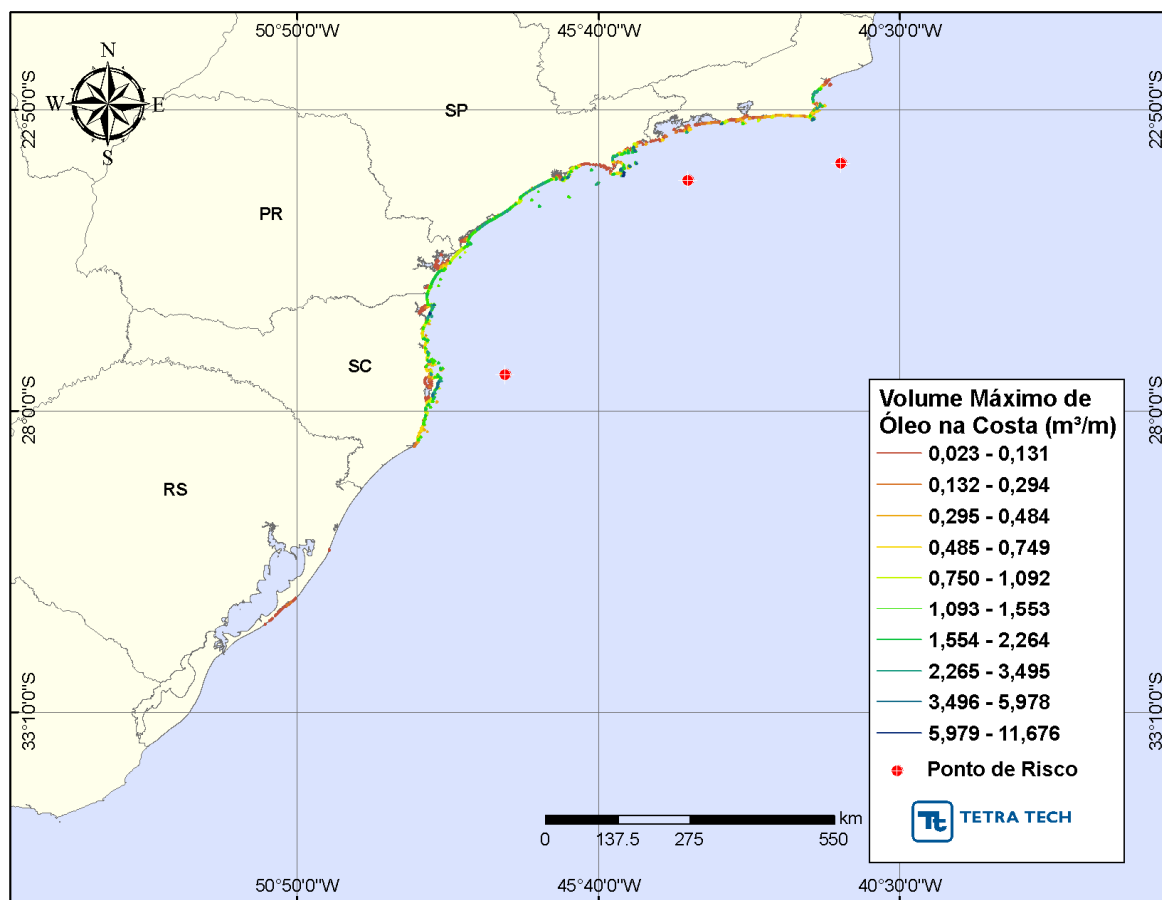


Figura III-14 - Volume máximo de óleo (m^3) por metro de costa para o Polo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo volume de pior caso, durante os meses de inverno (junho a agosto).

A Tabela III-5 apresenta a probabilidade de toque, o tempo mínimo de toque na linha de costa e o volume máximo por metro de costa para os municípios com probabilidade de toque, para os meses de inverno. Esta tabela considera a integração de todos os cenários de inverno simulados. No inverno, a Ilha das Aranhas e a Ilha do Xavier, pertencentes o Município de Florianópolis (SC), destacam-se com o menor tempo de toque (69 horas). O maior volume de óleo na costa foi de 11,676 m^3/m no Município de Ilhabela (SP).

Tabela III-5 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume de pior caso, no Polo Pré-Sal, no período de inverno.

MUNICÍPIO		PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (HORAS)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m ³ /m)
RJ	Macaé/Ilha do Frances	1	152	0,060
	Macaé/Ilha de Santana	1	152	0,091
	Macaé	1	163	0,211
	Rio das Ostras	3	159	2,976
	Casimiro de Abreu	3	168	2,904
	Armação dos Búzios/Ilha Branca	3	153	0,209
	Armação dos Búzios/ilha Ancora	3	129	0,571
	Armação dos Búzios/Ilha Gravata	3	131	1,200
	Armação dos Búzios/Ilha do Breu	3	134	0,541
	Armação dos Búzios/Ilha dos Pargos	3	129	0,271
	Armação dos Búzios	3	136	3,414
	Cabo Frio/Ilha Comprida	3	131	0,511
	Cabo Frio/Ilha do Papagaio	3	104	0,300
	Cabo Frio	4	95	2,684
	Arraial do Cabo/Ilha dos Porcos	4	85	0,921
	Arraial do Cabo/Ilha Cabo Frio	6	78	4,277
	Arraial do Cabo	6	81	1,105
	Araruama	6	101	0,557
	Saquarema	3	112	0,605
	Maricá/Ilhas Maricas	8	107	0,822
	Maricá	4	116	0,902
	Niterói/Ilha da mãe	4	132	0,149
	Niterói/Ilha do Pai	4	134	0,328
	Niterói	4	118	0,120
	Rio de Janeiro/Ilha Rasa	10	114	0,540
	Rio de Janeiro/Ilha Redonda	9	134	1,273
	Rio de Janeiro/Ilhas da Cagaras	7	137	0,600
	Rio de Janeiro/Ilha de Palmas	7	140	0,600
	Rio de Janeiro/Ilhas Tijucas	7	140	0,213
	Rio de Janeiro/Ilha Urupira	8	151	0,846
	Rio de Janeiro/Ilha de Guaratiba	7	152	0,781
	Rio de Janeiro	7	147	4,420
	Itaguaí/Restinga da Marambaia	4	187	0,297
	Mangaratiba/Restinga Marambaia	2	132	0,148
	Angra dos Reis/Ilha Jorge Grego	7	113	2,457
	Angra dos Reis	7	113	2,457
Angra dos Reis/Ilha Grande	5	119	0,741	
Parati	2	160	0,269	

(continua)

Tabela III-5 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume de pior caso, no Polo Pré-Sal, no período de inverno (continuação).

	MUNICÍPIO	PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (HORAS)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m ³ /m)
	Ubatuba/Ilha das Couves	1	102	0,344
	Ubatuba/Ilha Comprida	1	102	0,104
	Ubatuba/Ilha Anchieta	3	103	3,734
	Ubatuba/Ilha do Mar Virado	4	112	1,573
	Ubatuba	6	105	5,233
	Caraguatatuba/Ilha Tamanduá	6	108	1,314
	Caraguatatuba	8	111	3,495
	Ilhabela/Ilha de Vitória	19	76	4,066
	Ilhabela/Ilha dos Búzios	18	83	5,667
	Ilhabela/Ilha Sumitica	13	87	0,472
	Ilhabela	26	83	11,676
	São Sebastião/Arq. Alcatrazes	25	88	2,325
	São Sebastião/Ilha do Toque Toque	1	417	0,029
	São Sebastião	4	126	0,565
	Bertioga	7	235	1,167
	Guarujá/Ilha da Moela	10	236	0,995
	Guarujá	9	228	5,064
	Parq Est. Marin Laje de Santos	35	116	1,122
SP	Santos	1	598	0,028
	São Vicente	5	349	1,153
	Praia Grande	12	243	2,264
	Mongaguá	17	270	3,438
	Peruíbe/ Laje da Conceição	23	178	1,528
	Itanhaém/Ilha Queimada Grande	29	152	1,964
	Itanhaém/Ilha Queimada Pequena	24	162	1,242
	Itanhaém	19	287	3,438
	Peruíbe/Ilha do Guarau	23	201	0,916
	Peruíbe	24	201	2,634
	Iguape	30	222	3,280
	Ilha Comprida	34	242	2,714
	Cananéia/Ilha do Bom Abrigo	33	236	2,043
	Cananéia/Ilha do Castilho	32	243	0,983
	Cananéia/Ilha do Cambriú	31	250	1,523
	Cananéia	32	255	2,556
	Guaraqueçaba	30	297	1,324
	Guaraqueçaba / Ilha do Castilho	32	243	0,983
	Guaraqueçaba / Ilha da Povoçá	1	723	0,028

(continua)

Tabela III-5 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume de pior caso, no Polo Pré-Sal, no período de inverno (continuação).

	MUNICÍPIO	PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (HORAS)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m ³ /m)
PR	Guaraqueçaba / Ilha da Figueira	32	256	1,441
	Guaraqueçaba / Ilha das Peças	19	349	0,473
	Paranaguá	1	725	0,055
	Paranaguá / Ilha das Cobras	1	731	0,027
	Paranaguá / Ilhas das Palmas	26	344	0,503
	Paranaguá / Ilha Rasa da Cotinga	1	651	0,031
	Paranaguá / Ilha da Cotinga	1	654	0,031
	Paranaguá / Ilha do Mel	28	343	1,324
	Paranaguá / Ilha da Galheta	27	397	1,350
	Pontal do Paraná	26	320	1,746
	Pontal do Paraná / Ilha Guaraguaçu	1	656	0,031
	Pontal do Paraná / Ilhas Currais	34	340	1,415
	Matinhos	30	318	1,810
	Matinhos / Ilhas Itacolomis	34	308	1,140
	Guaratuba	30	312	1,518
Guaratuba / Ilha Saí	22	314	1,354	
SC	Itapoá	28	312	2,156
	Itapoá / Ilha Fora de Itapema	27	313	0,393
	São Francisco do Sul	25	120	6,713
	São Francisco do Sul / Pedra do Lobo	29	299	1,101
	São Francisco do Sul / Pedra da Baleia	30	299	0,417
	São Francisco do Sul / Pedra do Itacolomí	29	297	4,346
	São Francisco do Sul / Ilhota São Luís	28	297	4,346
	São Francisco do Sul / Ilha da Paz	28	296	4,346
	São Francisco do Sul / Ilha da Velha	28	297	4,346
	São Francisco do Sul / Ilha da Sororoca Pequena	26	297	4,346
	São Francisco do Sul / Ilha da Sororoca Grande	27	297	4,346
	São Francisco do Sul / Ilha Iriri	8	568	0,096
	São Francisco do Sul / Pedra do Baiacu	11	452	0,083
	São Francisco do Sul / Pedra da Corvina	25	303	0,191
	São Francisco do Sul / Ilha Mandigituba	26	298	0,662
	São Francisco do Sul / Pedra do Filhote do Caçõ	26	303	0,566
	São Francisco do Sul / Pedra do Caçõ	26	298	0,662
	São Francisco do Sul / Ilha do Alvarenga	3	561	0,032
	São Francisco do Sul / Ilha do Ferreira	1	700	0,024
	São Francisco do Sul / Ilha dos Herdeiros	2	583	0,063
São Francisco do Sul / Ilha do Maracujá	2	585	0,063	

(continua)

Tabela III-5 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume de pior caso, no Polo Pré-Sal, no período de inverno (continuação).

MUNICÍPIO		PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (HORAS)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m ³ /m)
SC	São Francisco do Sul / Ilha do Caçõo	2	576	0,031
	São Francisco do Sul / Ilha do Araujo de Fora	2	574	0,063
	São Francisco do Sul / Ilha do Araujo do Meio	2	574	0,063
	São Francisco do Sul / Ilha do Araujo de Dentro	2	574	0,063
	São Francisco do Sul / Ilha Tamboretas	29	115	2,599
	Balneário Barra do Sul	23	127	1,141
	Balneário Barra do Sul / Ilha Araras	25	123	1,043
	Balneário Barra do Sul / Ilha Remédio	25	125	0,790
	Balneário Barra do Sul / Ilha Feia	23	126	0,574
	Balneário Barra do Sul / Ilha Tipitinga	23	127	0,221
	Balneário Barra do Sul / Ilha dos Lobos	26	122	0,316
	Araquari	14	133	0,853
	Barra Velha	20	135	1,164
	Barra Velha / Ilhas Itacolomis	26	127	0,284
	Piçarras	20	137	1,687
	Piçarras / Ilha Feia	24	132	0,563
	Penha	25	125	1,811
	Navegantes	12	135	0,545
	Itajaí	21	137	1,095
	Balneário Camboriú	23	127	2,407
	Itapema	16	128	1,850
	Bombinhas	23	121	1,541
	Bombinhas / Ilha da Galé	23	114	1,979
	Bombinhas / Ilha do Amendoim	16	121	0,534
	Bombinhas / Ilha Deserta	24	105	1,318
	Bombinhas / Ilha do Arvoredo	22	106	2,074
	Porto Belo	23	123	2,740
	Porto Belo / Ilha João da Cunha	23	430	1,403
	Tijucas	14	129	1,450
	Florianópolis	19	72	5,125
	Florianópolis / Ilhas Moleques do Norte	19	89	0,395
	Florianópolis / Ilha do Francês	13	122	0,547
	Florianópolis / Ilha Mara Fome	19	91	0,626
Florianópolis / Ilha do Badejo	19	81	0,467	
Florianópolis / Ilha Ratonas Grande	4	422	0,171	
Florianópolis / Ilha das Aranhas	19	69	3,047	

(continua)

Tabela III-5 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume de pior caso, no Polo Pré-Sal, no período de inverno (continuação).

MUNICÍPIO		PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (HORAS)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m ³ /m)	
SC	Florianópolis / Ilha Ratonos Pequena	3	423	0,122	
	Florianópolis / Ilha do Xavier	20	69	1,051	
	Florianópolis / Ilha do Campeche	18	70	2,392	
	Florianópolis / Ilha Irmã Pequena	13	79	0,814	
	Florianópolis / Ilha Irmã de Fora	16	76	1,232	
	Florianópolis / Ilhas Moleques do Sul	21	70	0,433	
	Florianópolis / Ilha Irmã do Meio	14	79	0,863	
	Governador Celso Ramos	16	115	2,560	
	Governador Celso Ramos / Ilha de Ganchos	16	123	0,294	
	Governador Celso Ramos / Ilha das Palmas	15	120	1,045	
	Governador Celso Ramos / Ilha de Anhatomirim	6	134	0,221	
	Biguaçu	1	145	0,078	
	São José	1	199	0,025	
	Palhoça	13	84	1,707	
	Paulo Lopes	12	86	1,607	
	Paulo Lopes / Ilha do Coral	17	81	1,431	
	Garopaba	13	88	2,115	
	Garopaba / Ilhota do Siri	12	87	0,204	
	Imbituba	13	89	1,534	
	Imbituba / Ilha do Batuba	13	89	0,492	
	Imbituba / Ilha Santana Norte	10	90	0,344	
	Imbituba / Ilha Santana Sul	10	90	0,344	
	Imbituba / Ilha das Araras	15	89	0,332	
	Imbituba / Ilha Tacami	20	89	0,457	
	Laguna	10	97	1,218	
	Laguna / Ilha dos Lobos	13	95	1,148	
	RS	Palmares do Sul	1	588	0,024
		Tavares	2	706	0,166
São José do Norte		1	704	0,024	

III.2 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS CRÍTICAS

A análise dos resultados das simulações probabilísticas realizadas permitiu identificar os cenários determinísticos críticos de verão e inverno. Em cada período, de todas as 600 simulações realizadas para cada ponto de modelagem, foram considerados como mais críticos os cenários que apresentaram o menor tempo de toque na costa. A Tabela III-6 apresenta um resumo dos cenários determinísticos críticos simulados. Observa-se que o menor tempo de toque do óleo na costa foi de 70 horas no verão e 69 horas no inverno, resultante dos cenários dos pontos S01 e S09, respectivamente.

Tabela III-6 - Resumo dos cenários determinísticos críticos simulados.

CENÁRIOS	DATA DE INÍCIO DA SIMULAÇÃO	TEMPO MÍNIMO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	MUNICÍPIO DO PRIMEIRO TOQUE	VOLUME FINAL DE ÓLEO QUE CHEGA À COSTA (m ³)
DET_S01_VER_PC	15/01/2004 - 23:00 h	70	Saquarema - RJ	25.294,0
DET_S04_VER_PC	14/01/2004 - 17:00 h	122	Ilhabela - SP	25.322,0
DET_S09_VER_PC	07/02/2004 - 00:00 h	79	Ilhas Moleques do Sul – Florianópolis - SC	14.388,0
DET_S01_INV_PC	09/08/2004 - 17:00 h	78	Ilha do Cabo Frio - Arraial do Cabo - RJ	26.295,0
DET_S04_INV_PC	17/07/2004 - 21:00 h	76	Ilha da Vitória – Ilhabela - SP	26.467,0
DET_S09_INV_PC	18/07/2004 - 11:00 h	69	Ilha do Xavier – Florianópolis - SC	26.496,0

Os resultados das simulações determinísticas críticas são apresentados na forma de três 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 31 dias de simulação. A cor cinza representa a região por onde a mancha se deslocou durante o período de duração da simulação e, portanto, não está associada a uma espessura. A mancha no instante de primeiro toque é aquela representada pela escala de cores indicada nas legendas.

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.

Adicionalmente, são apresentadas figuras com as condições meteorológicas e oceanográficas atuantes nos cenários determinísticos críticos para os cenários que apresentaram o menor tempo de toque na costa para cada condição sazonal simulada (verão e inverno).

Da Figura III-15 a Figura III-26 apresentam-se os resultados determinísticos críticos de verão e inverno. Analisando os gráficos de balanço de massa destas simulações, observa-se que a evaporação e a interação com a linha de costa são os principais processos que atuam na redução da massa de óleo na água.

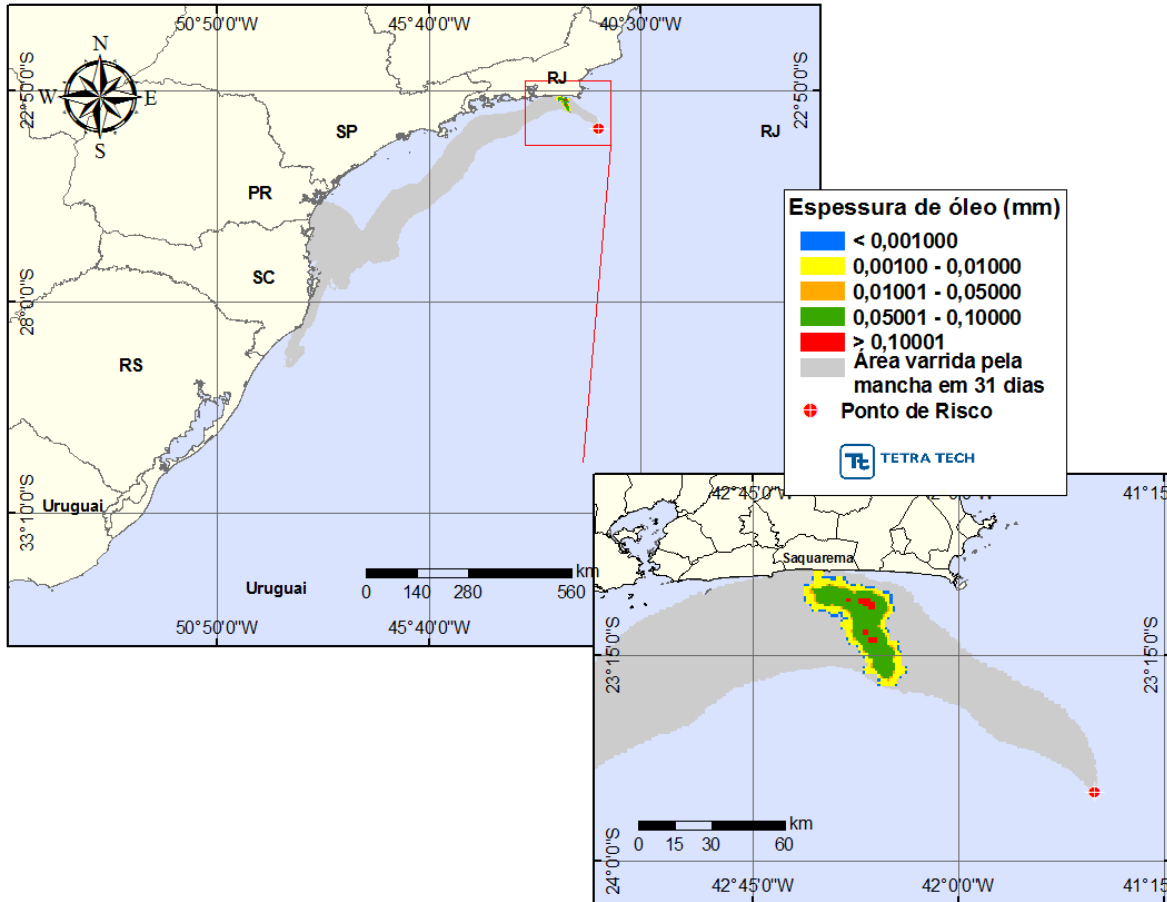


Figura III-15 - DET_S01_VER_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 3.600,0 m³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o verão.

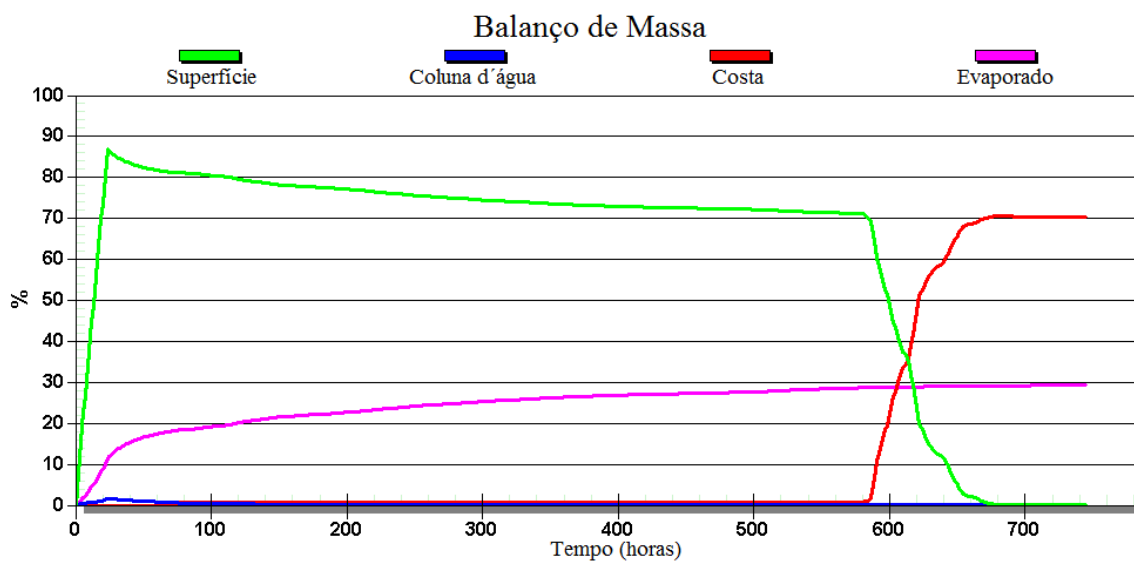


Figura III-16 - Balanço de massa do cenário DET_S01_VER_PC.

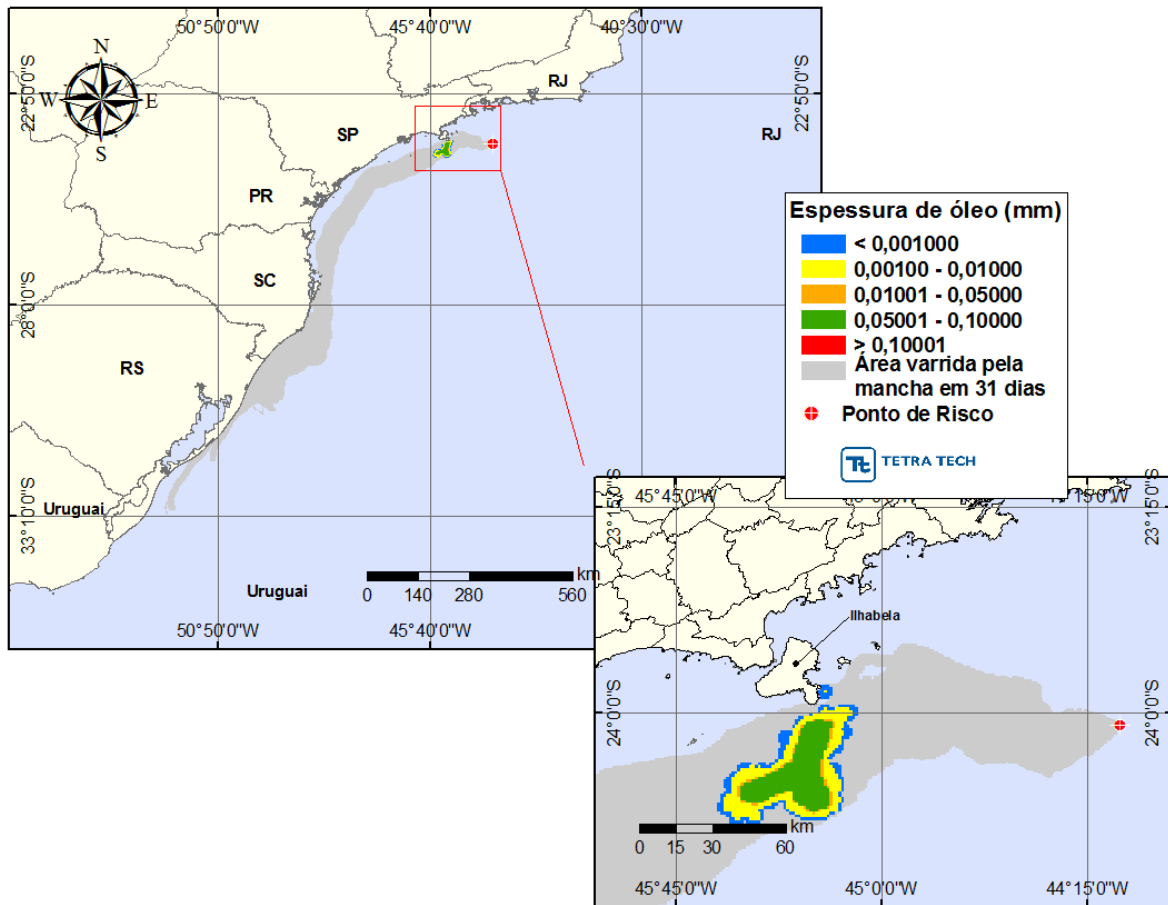


Figura III-17 - DET_S04_VER_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 3.600,0 m³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o verão.

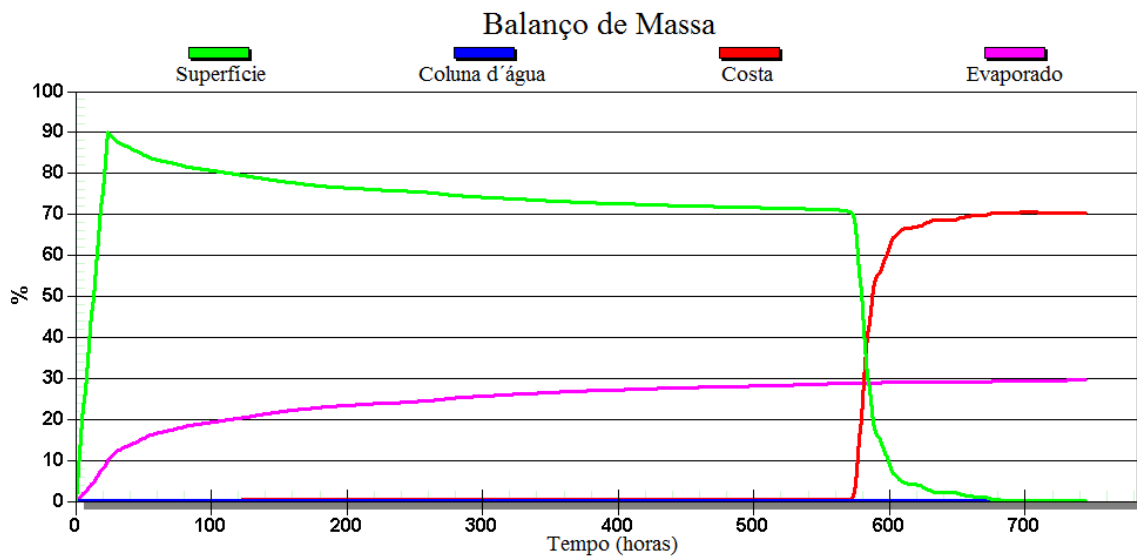


Figura III-18 - Balanço de massa do cenário DET_S04_VER_PC.

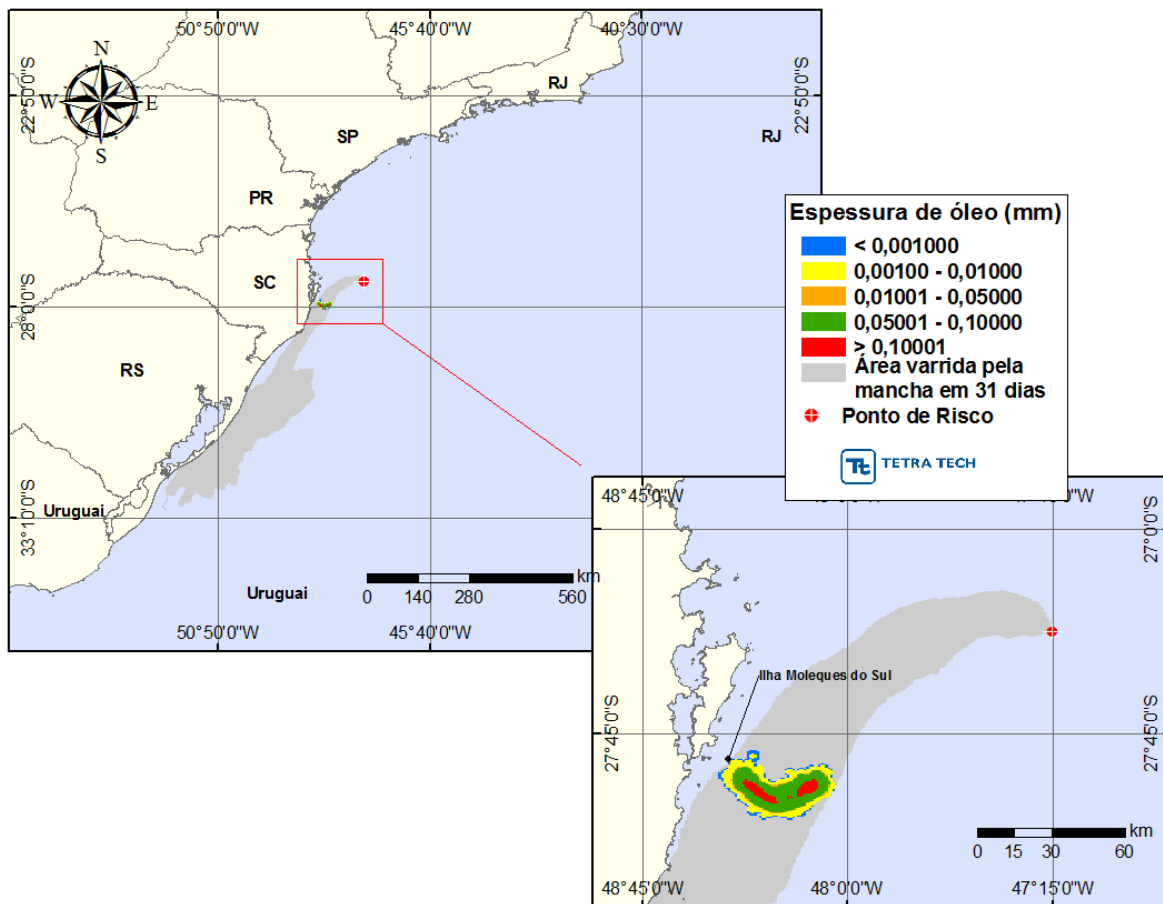


Figura III-19 - DET_S09_VER_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 3.600,0 m³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o verão.

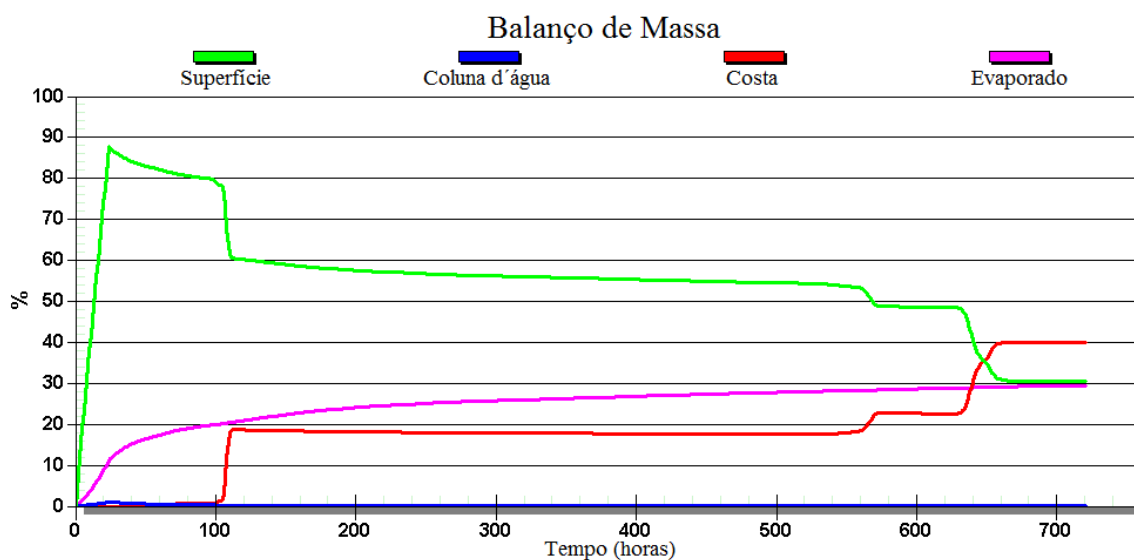


Figura III-20 - Balanco de massa do cenário DET_S09_VER_PC.

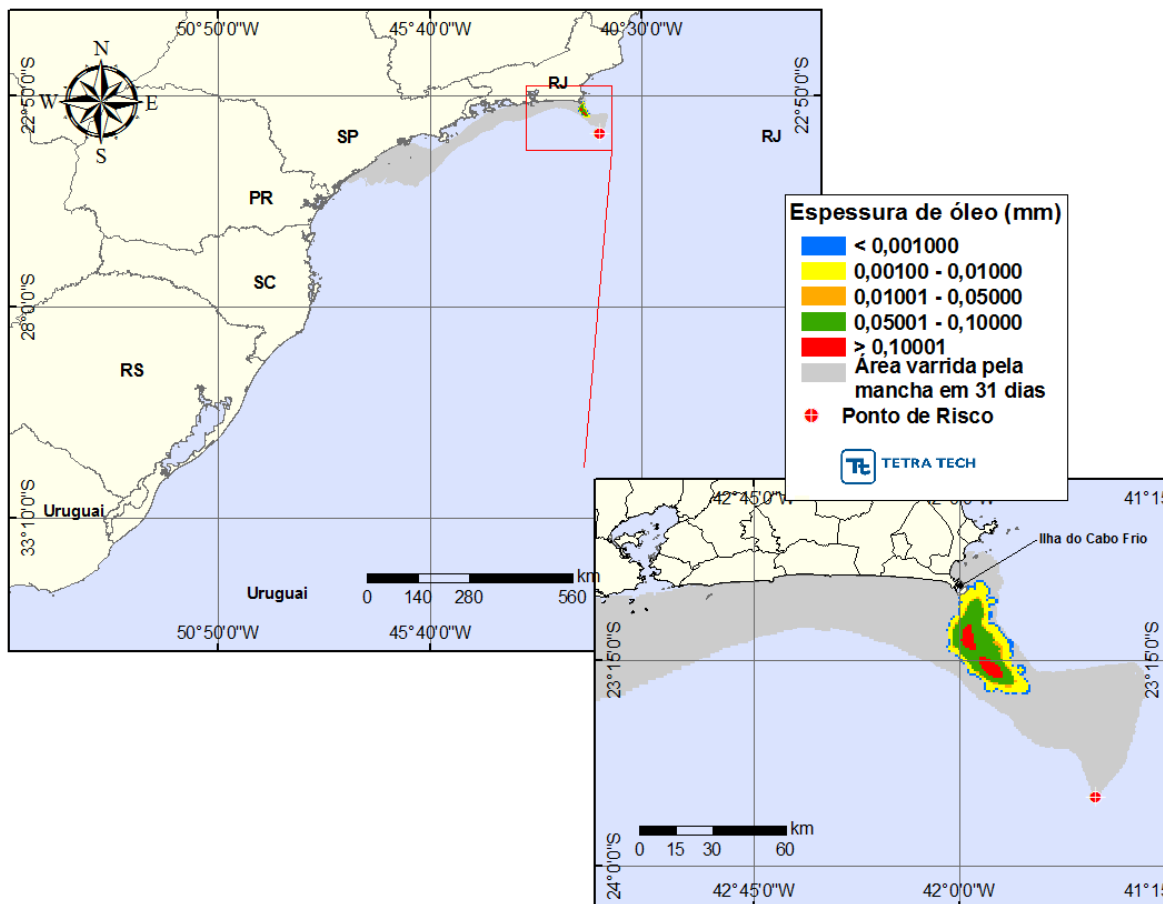


Figura III-21 - DET_S01_INV_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 3.600,0 m³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o inverno.

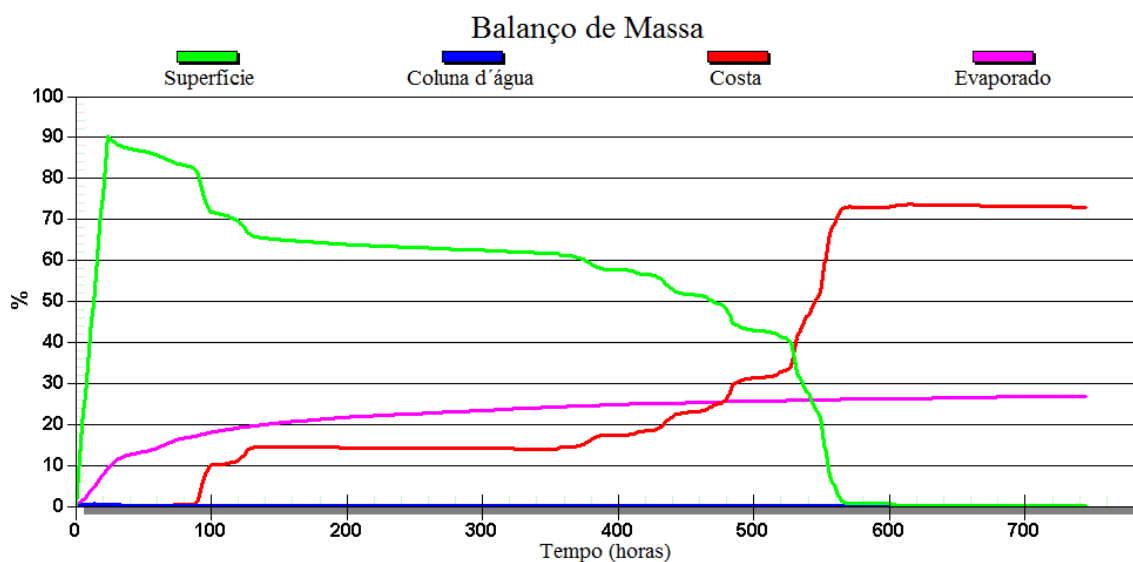


Figura III-22 - Balanço de massa do cenário DET_S01_INV_PC.

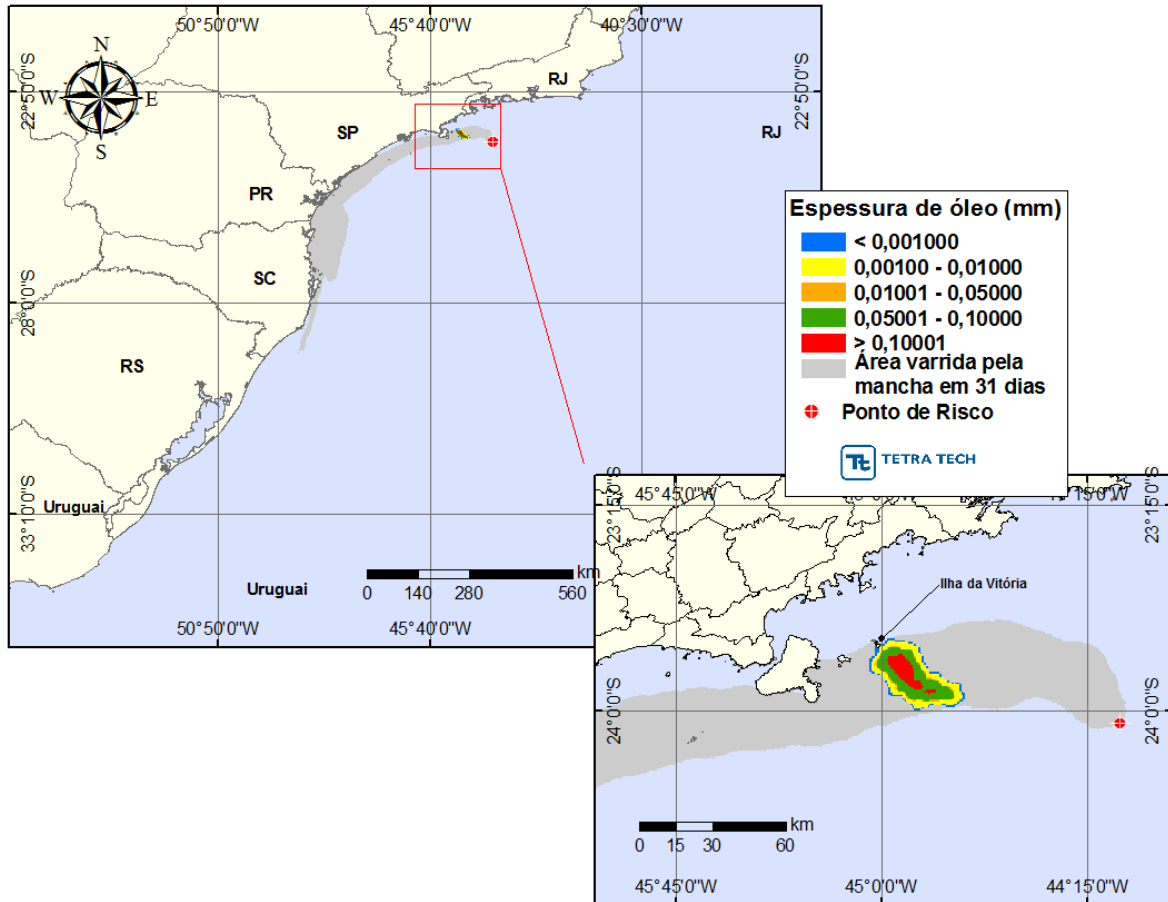


Figura III-23 - DET_S04_INV_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 3.600,0 m³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o inverno.

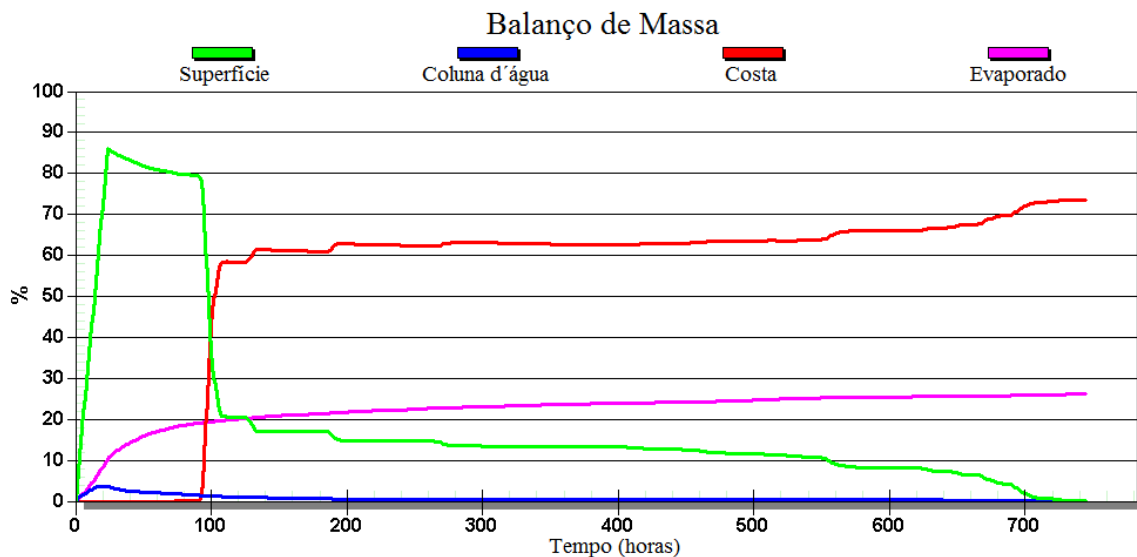


Figura III-24 - Balanço de massa do cenário DET_S04_INV_PC.

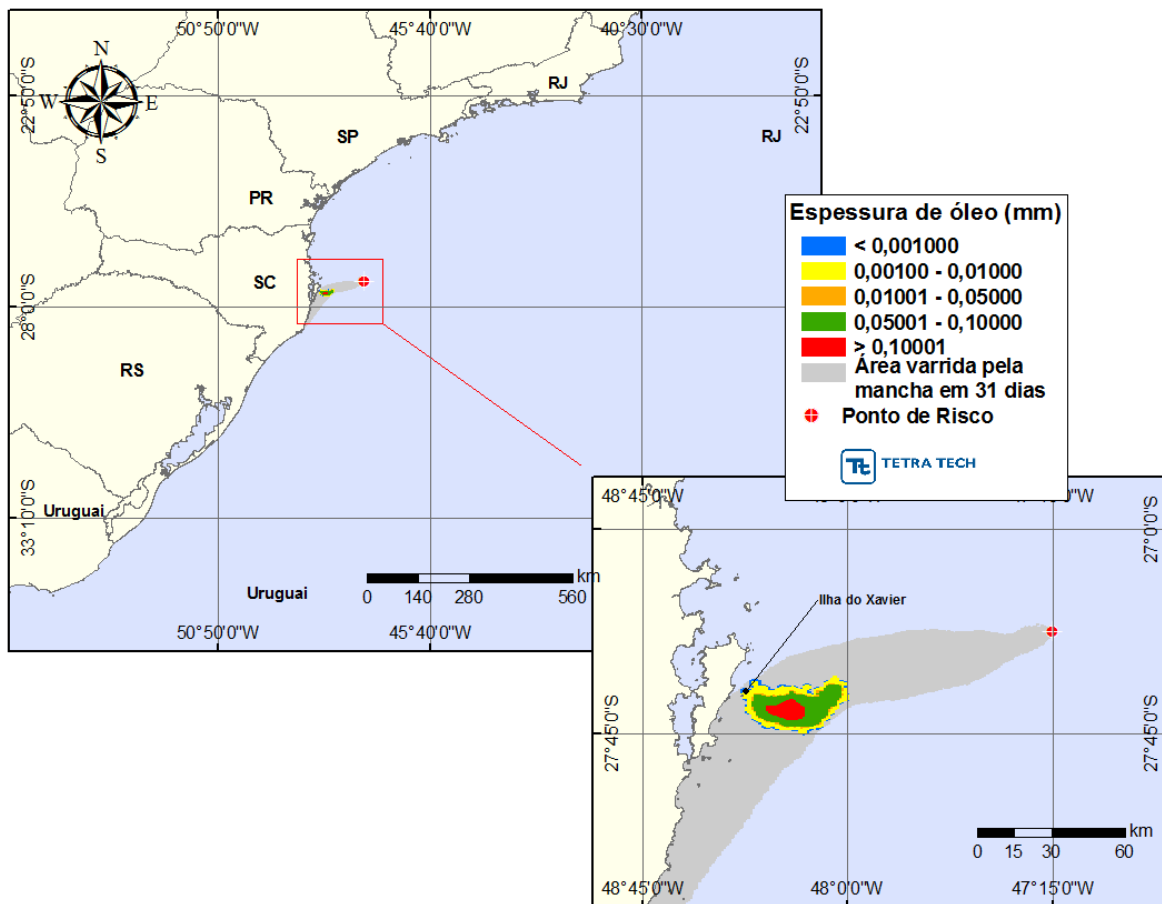


Figura III-25 - DET_S09_INV_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 3.600,0 m³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o inverno.

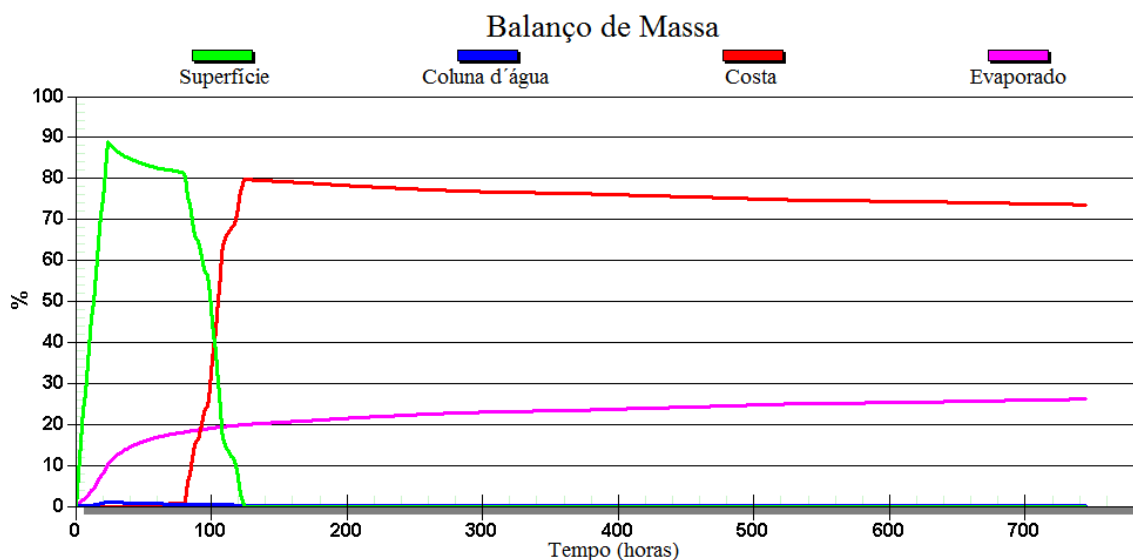


Figura III-26 - Balanço de massa do cenário DET_S09_INV_PC.

III.2.1 Condições Meteorológicas e Oceanográficas - Simulações Determinísticas Críticas

A seguir, são apresentadas figuras das condições meteorológicas e oceanográficas que atuaram nos cenários determinísticos críticos, a chegada do óleo na costa. Como se trata de um conjunto de pontos apresentam-se figuras para os cenários com o menor tempo de toque na costa, para ambas as condições sazonais simuladas (verão e inverno). Estes se referem ao ponto S01 no verão e ponto S09 no inverno.

Da Figura III-27 a Figura III-29 são apresentadas ilustrações das condições meteorológicas e oceanográficas para alguns instantes do cenário determinístico crítico de verão, a partir do início do derrame até o instante de primeiro toque do óleo na costa, ocorrido no Município de Saquarema (RJ), aproximadamente, 70 horas após o início da simulação.

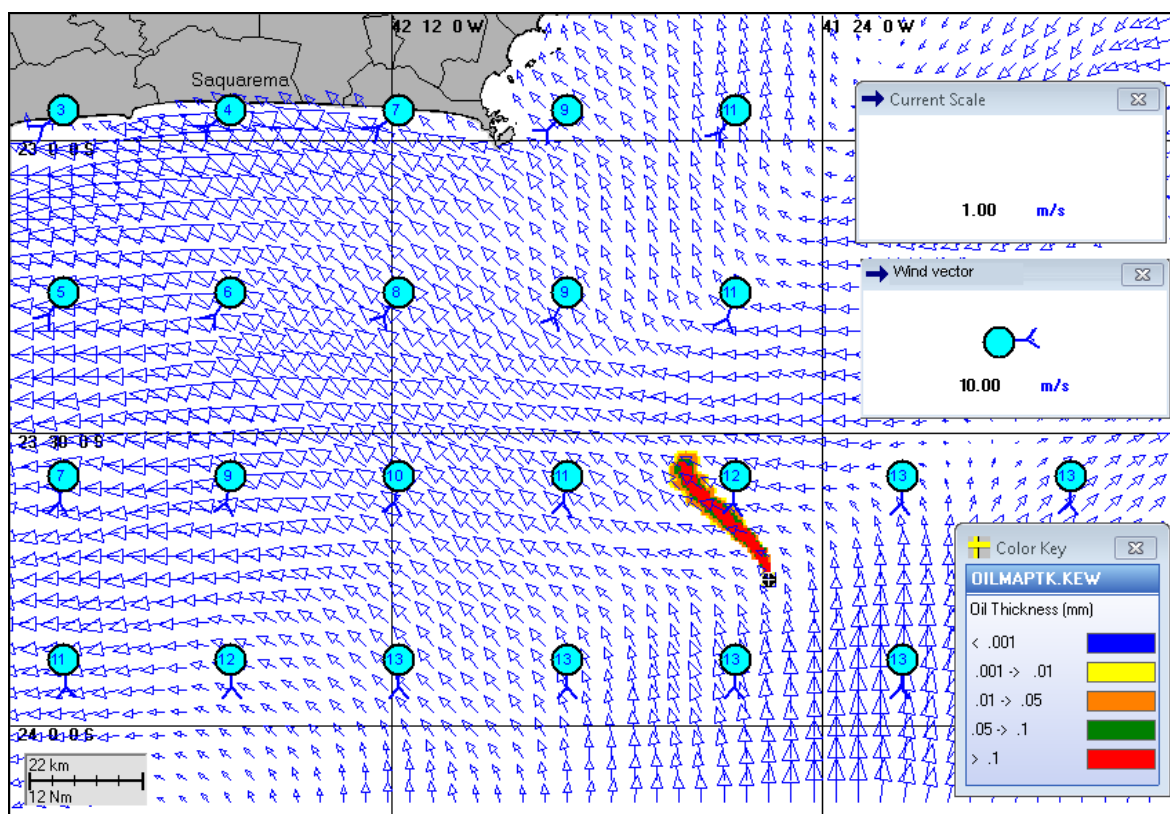


Figura III-27 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística crítica do ponto de modelagem S01, no verão. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente-W/NW; Vento-S.

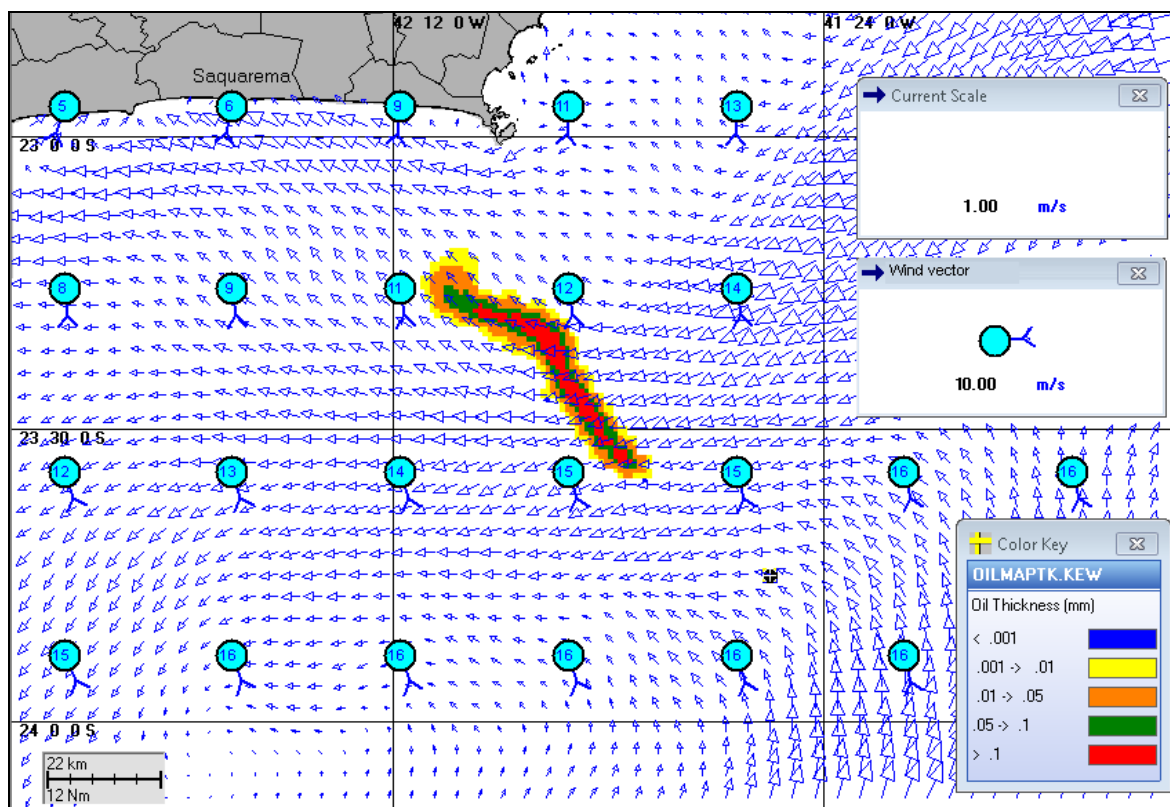


Figura III-28 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo em um instante intermediário da simulação determinística crítica do ponto de modelagem S01, no verão. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente- W; Vento- SSE.

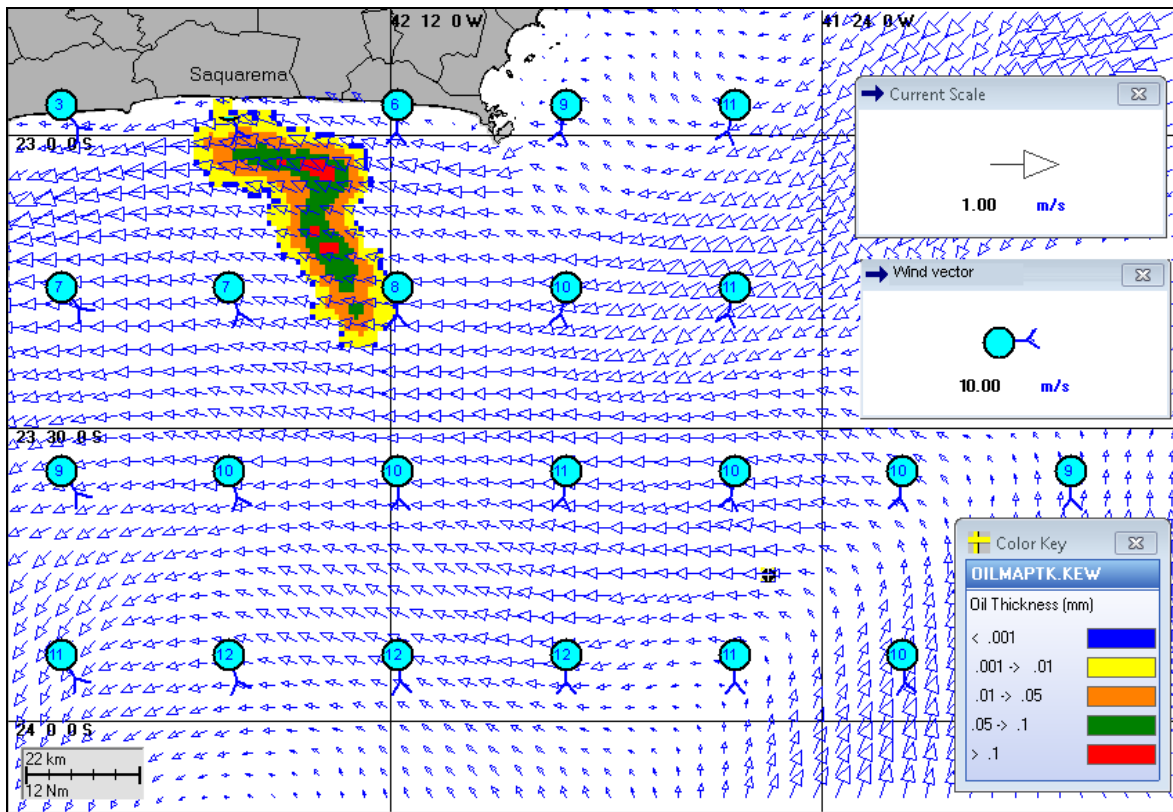


Figura III-29 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação determinística crítica do ponto de modelagem S01, no verão. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente- W; Vento- S.

Da Figura III-30 a Figura III-32 apresentam-se ilustrações das condições meteorológicas e oceanográficas para alguns instantes do cenário determinístico crítico de inverno, do ponto S09, a partir do início do derrame até o instante de primeiro toque do óleo na costa, ocorrido na Ilha do Xavier, pertencente ao Município de Florianópolis (SC), aproximadamente 69 horas após o início da simulação.

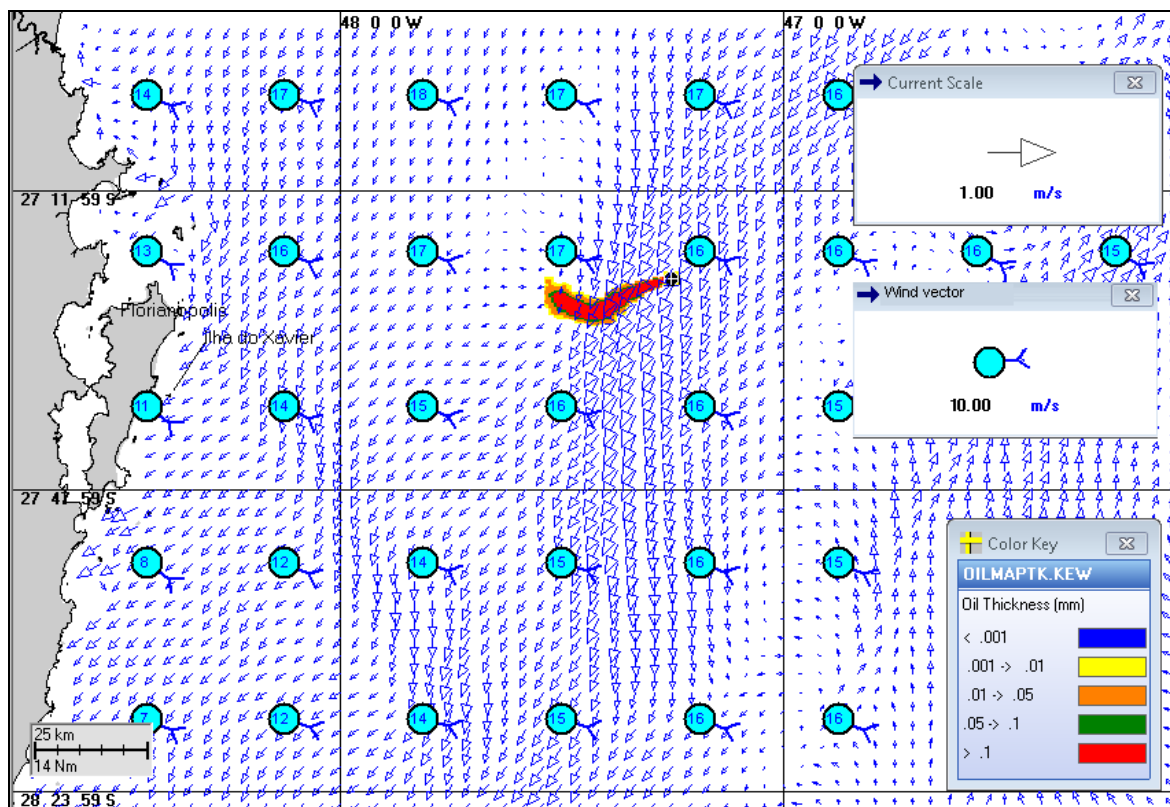


Figura III-30 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística crítica do ponto S09, no inverno. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente- SW; Vento- ESE.

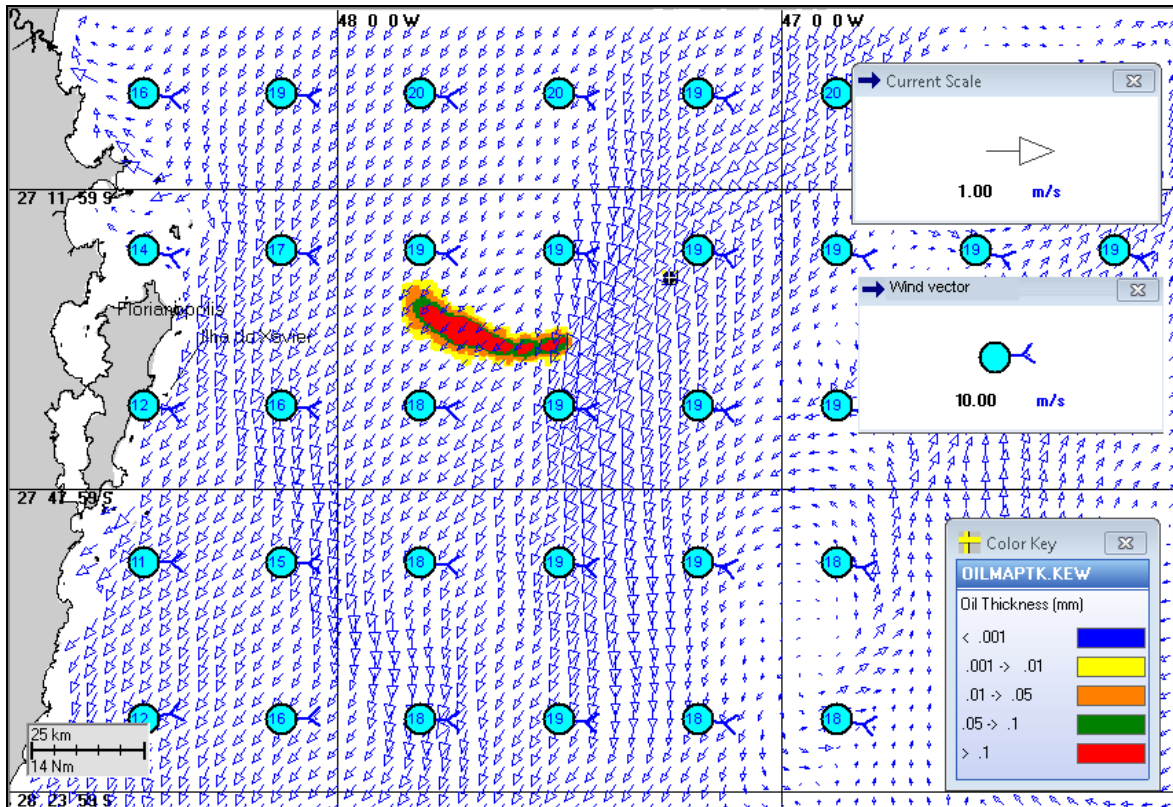


Figura III-31 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo em um instante intermediário da simulação determinística crítica do ponto S09, no inverno. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente- SW; Vento- E.

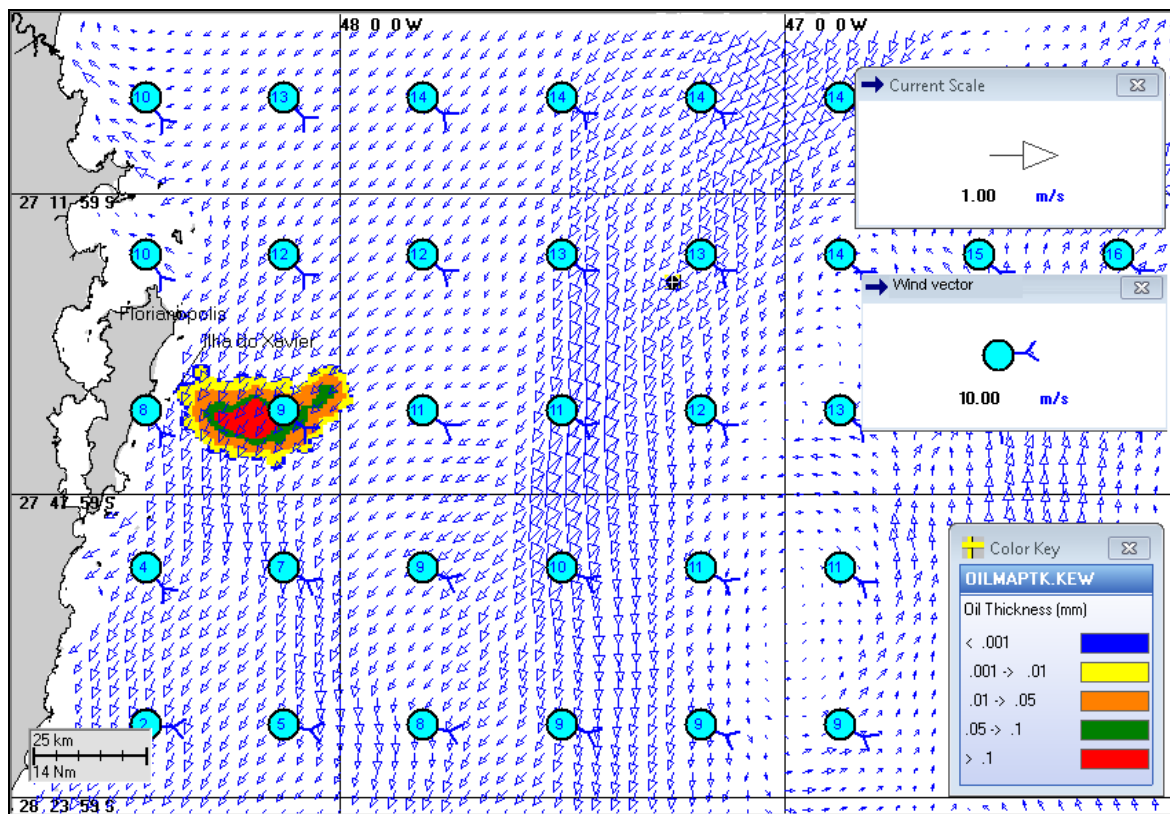


Figura III-32 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação determinística crítica do ponto S09, no inverno. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente- S/SW; Vento- SE.

III.3 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS PARA AS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E OCEANOGRÁFICAS MAIS FREQUENTES

Os resultados das análises das informações de vento (Subitem II.1.2) e correntes (Anexo C) permitiram caracterizar e identificar as condições meteorológicas e oceanográficas mais frequentes atuantes na área de estudo. Observou-se que campo hidrodinâmico e atmosférico apresentam alta variabilidade espacial e temporal, com diferentes condições ambientais mais frequentes, correlacionadas a sazonalidade e localização do ponto de modelagem.

Para estas condições (ventos e correntes mais frequentes) foram elaborados os cenários determinísticos cujo instante inicial corresponde a uma condição mais

frequente no verão e uma no inverno para cada ponto de modelagem. A Tabela III-7 apresenta um resumo dos cenários mais frequentes de verão e inverno.

Tabela III-7 - Resumo dos cenários determinísticos mais frequentes que apresentaram toque de óleo na costa.

CENÁRIO	DATA DE INÍCIO DA SIMULAÇÃO	TEMPO MÍNIMO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	MUNICÍPIO DO PRIMEIRO TOQUE	VOLUME FINAL DE ÓLEO QUE CHEGA À COSTA (m ³)
DET_FREQ_S01_VER_PC	22/01/2004 -21:00 h	744	Arq. de Alcatrazes – Ilhabela - SP	< 1,0
DET_FREQ_S04_VER_PC	27/01/2004 -21:00 h	330	Ilha do Bom Abrigo - Cananéia - SP	25.818,0
DET_FREQ_S09_VER_PC	20/01/2004 -08:00 h	414	Tavares - RS	4.246,0
DET_FREQ_S01_INV_PC	17/08/2004 -12:00 h	343	Ilha do Cabo Frio - Arraial do Cabo - RJ	25.023,0
DET_FREQ_S04_INV_PC	14/08/2004 -07:00 h	569	Penha - SC	25.429,0
DET_FREQ_S09_INV_PC	14/07/2004 -17:00 h	151	São Francisco do Sul - SC	26.785,0

Os resultados gráficos apresentados, a seguir, seguem o mesmo padrão adotado nos cenários determinísticos críticos, onde são apresentadas três figuras. Uma das figuras apresenta os contornos de espessura no instante de primeiro toque e a área varrida pela mancha ao longo dos 31 dias de simulação. A cor cinza representa a região por onde a mancha se deslocou durante o período de duração da simulação e, portanto, não está associada a uma espessura. A mancha no instante de primeiro toque é aquela representada pela escala de cores indicada nas legendas.

A outra figura apresenta um gráfico com o balanço de massa (óleo na superfície, na costa, evaporado e na coluna d'água). Adicionalmente, são apresentadas figuras com as condições meteorológicas e oceanográficas atuantes para os cenários com o menor tempo de toque na costa para cada condição sazonal simulada (verão e inverno).

A seguir, da Figura III-33 até a Figura III-44 são apresentados os resultados determinísticos das condições meteorológicas e oceanográficas mais frequentes de verão e inverno. Os gráficos de balanço de massa mostram que a evaporação e a interação com a costa foram os principais processos atuantes na redução da massa de óleo da superfície da água.

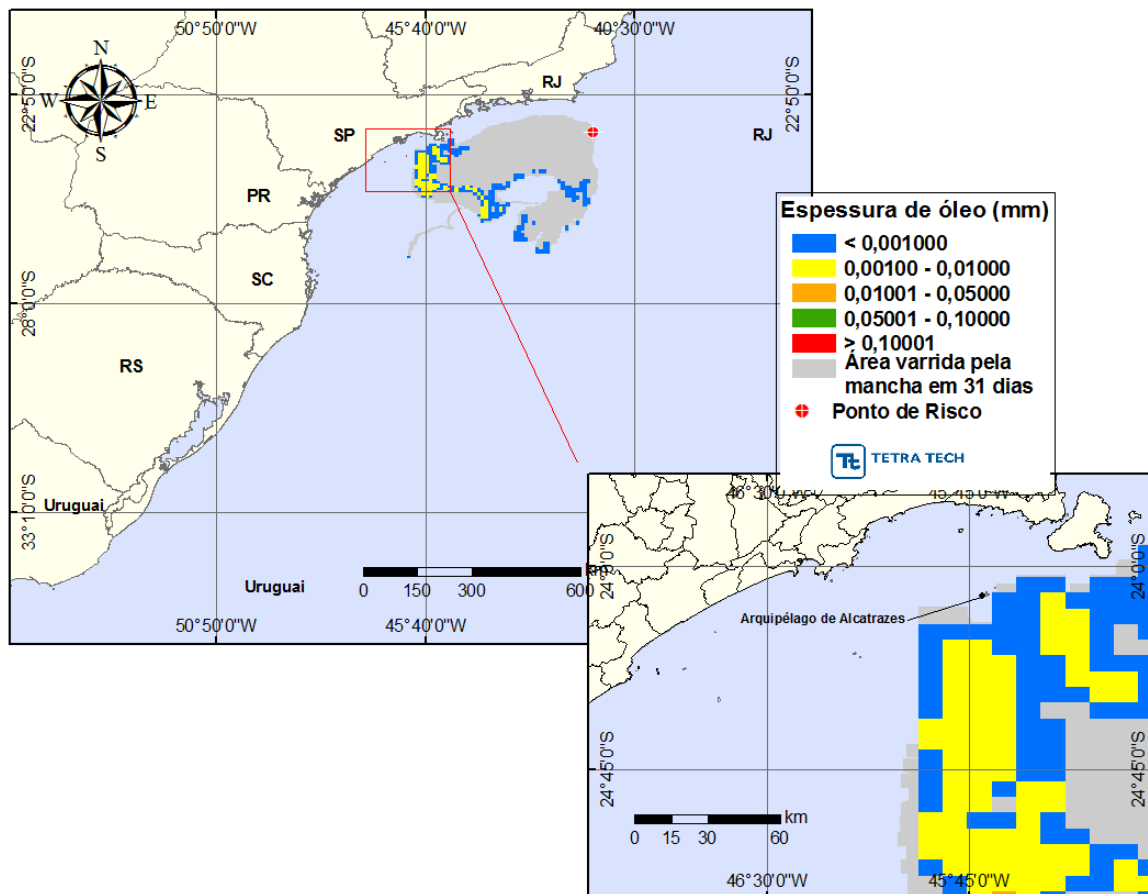


Figura III-33 - DET_FREQ_S01_VER_PC. Cenário determinístico frequente para um derrame de 3.600,0 m³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o verão.

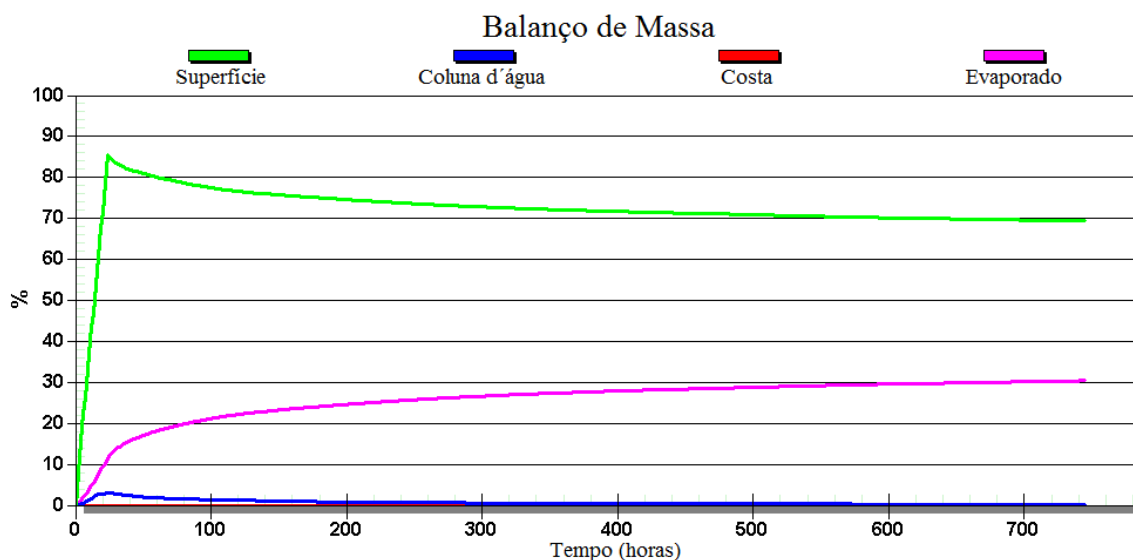


Figura III-34 - Balanço de massa do cenário DET_FREQ_S01_VER_PC.

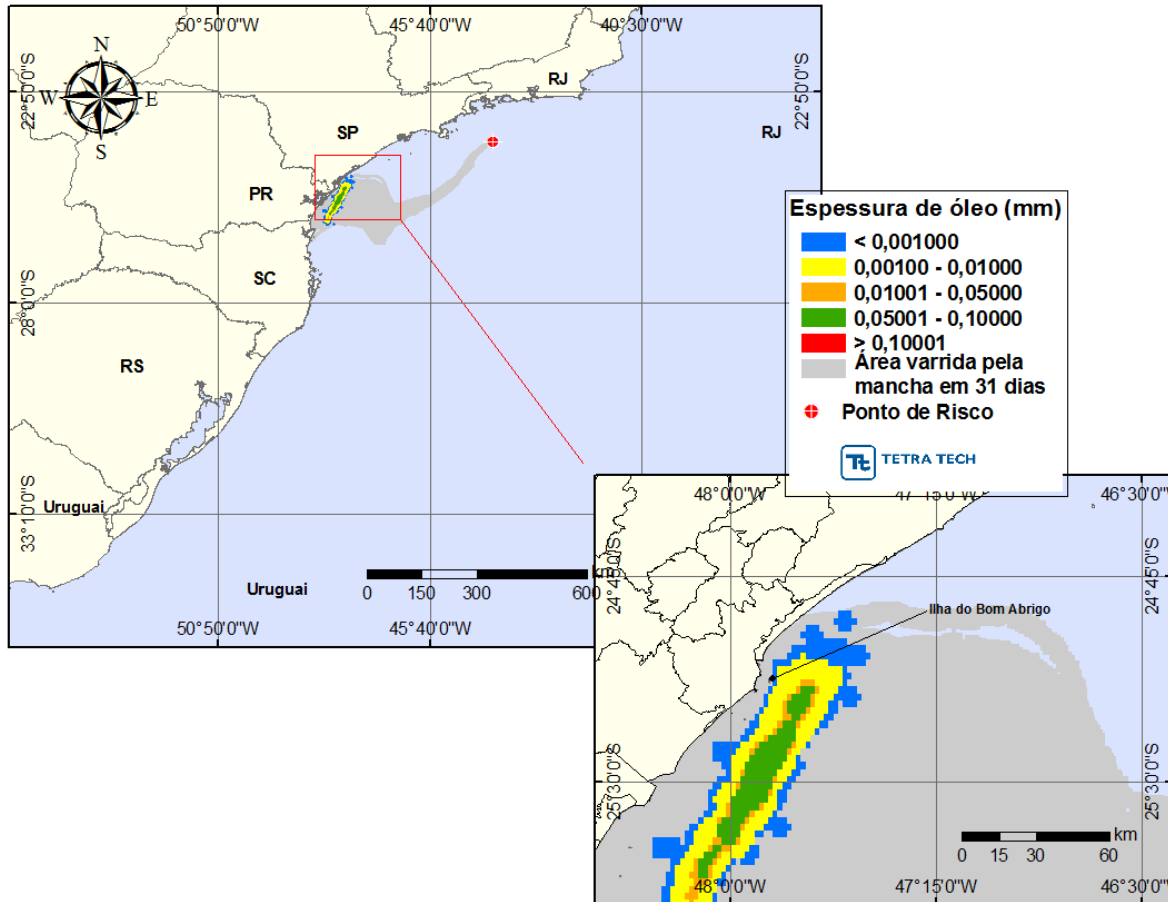


Figura III-35 - DET_FREQ_S04_VER_PC. Cenário determinístico frequente para um derrame de 3.600,0 m³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o verão.

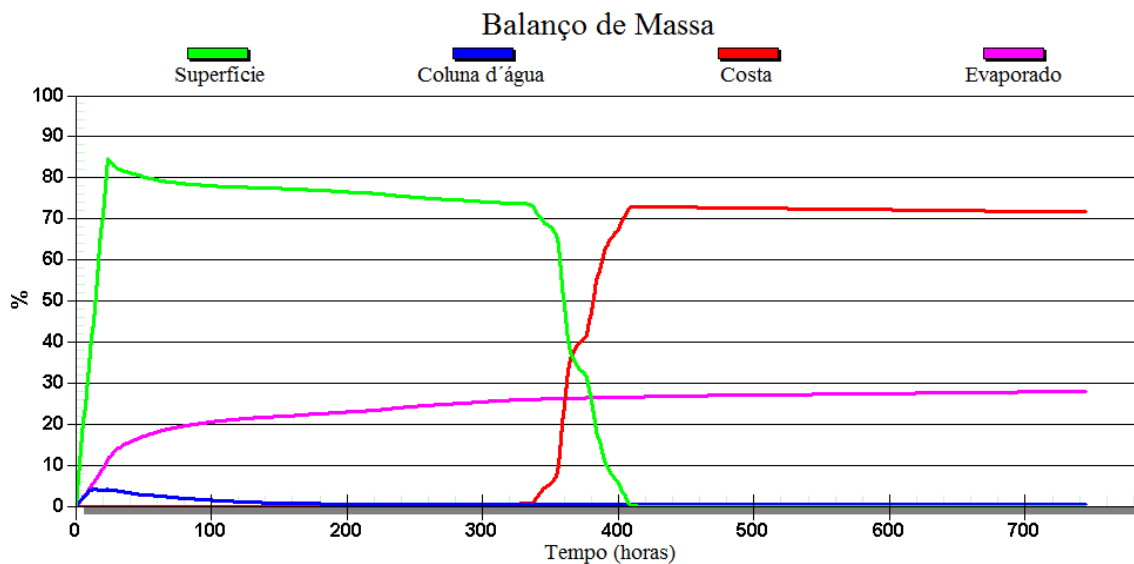


Figura III-36 - Balanço de massa do cenário DET_FREQ_S04_VER_PC.

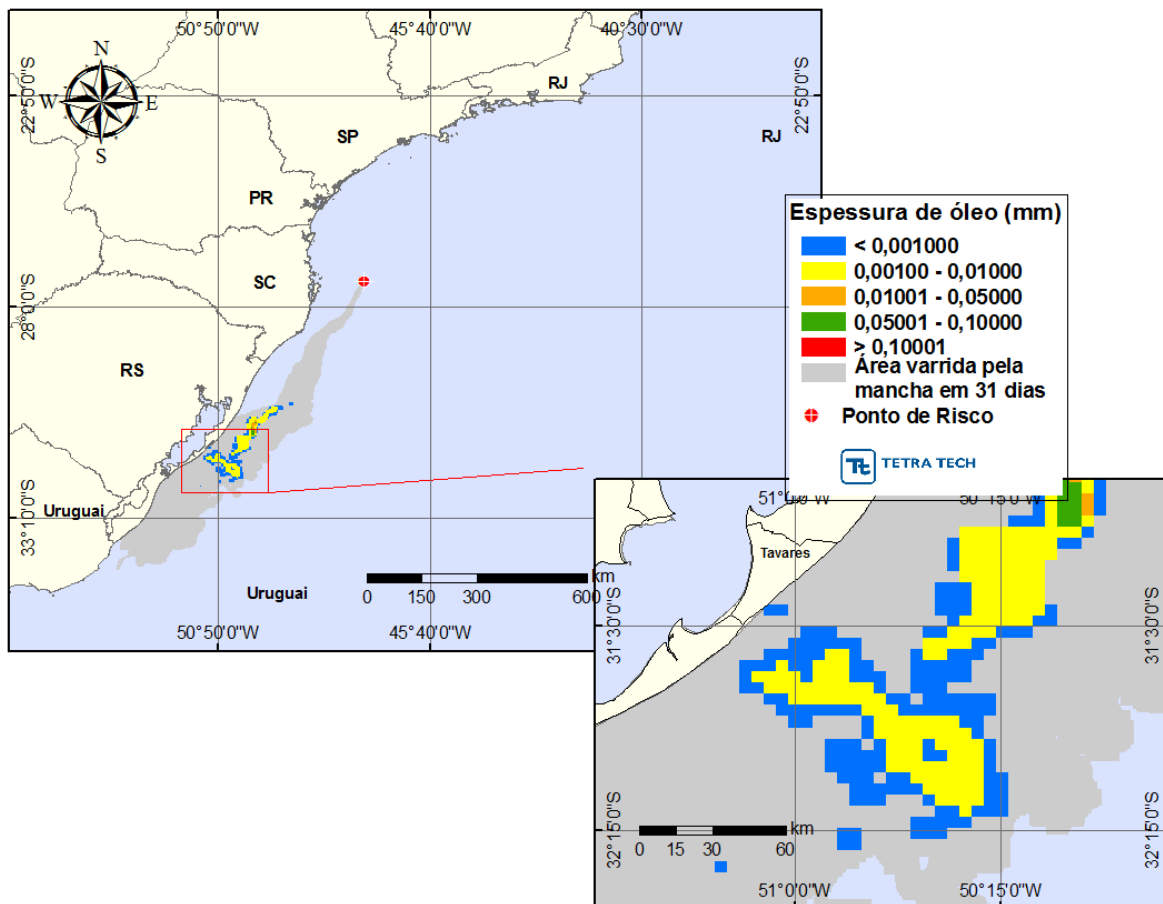


Figura III-37 - DET_FREQ_S09_VER_PC. Cenário determinístico frequente para um derrame de 3.600,0 m³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o verão.

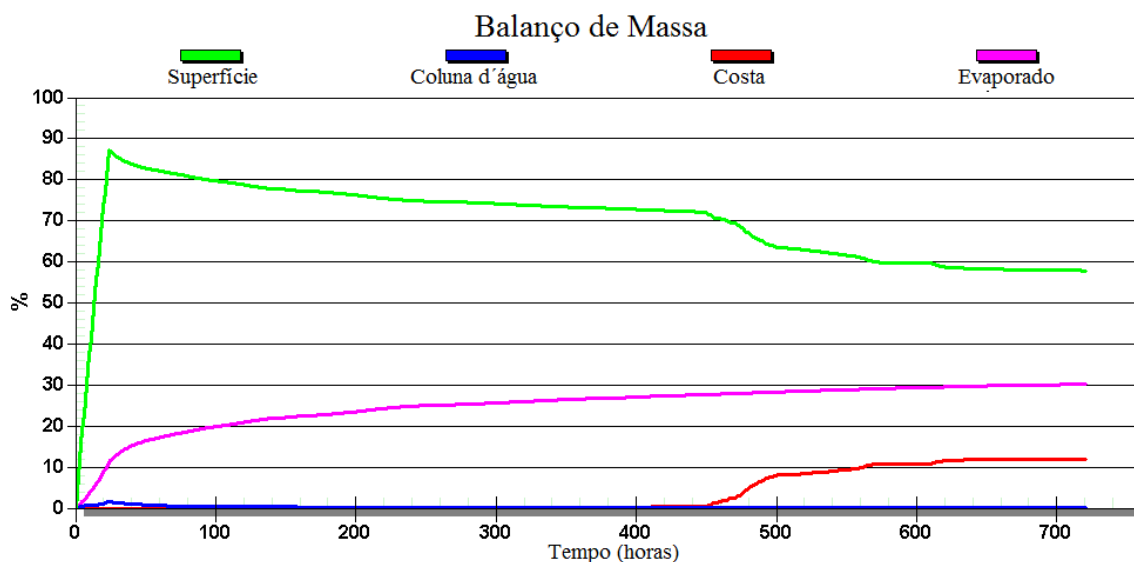


Figura III-38 - Balanço de massa do cenário DET_FREQ_S09_VER_PC.

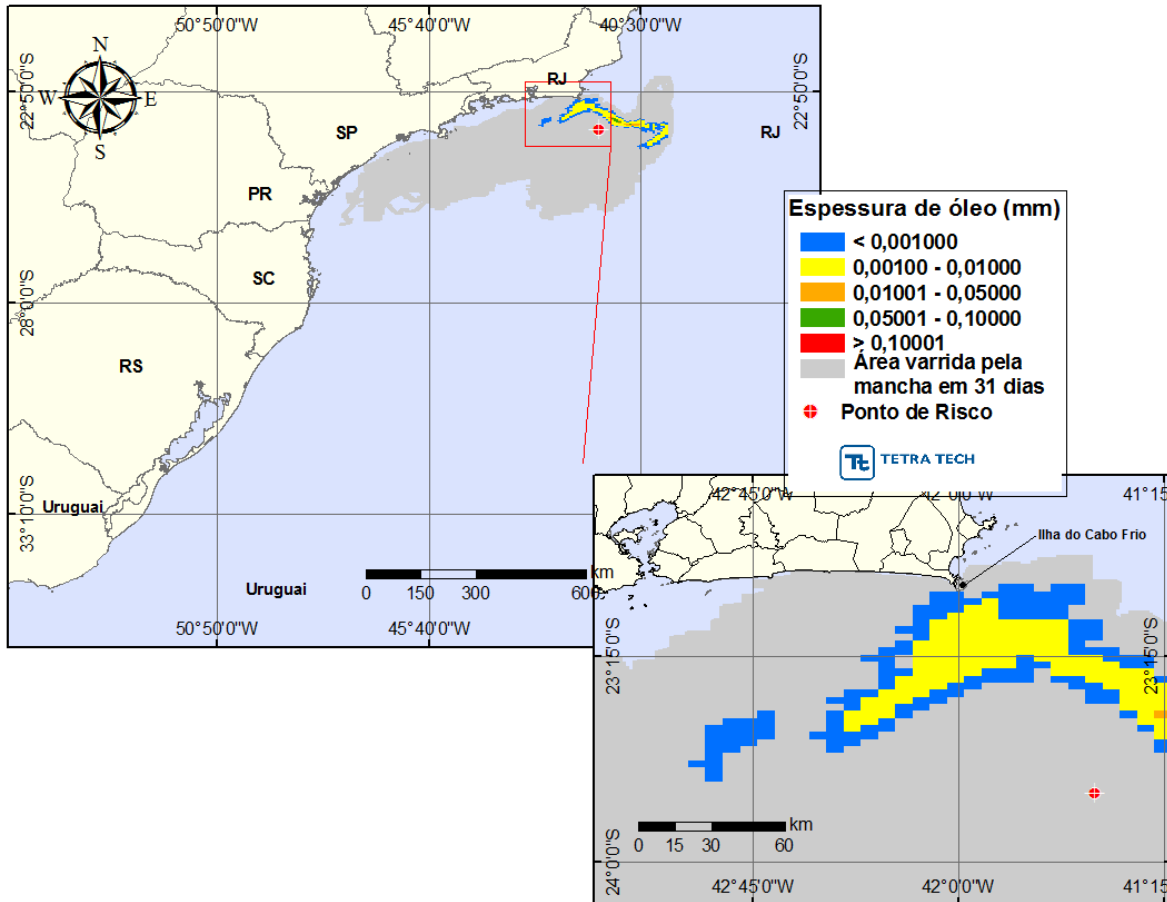


Figura III-39 - DET_FREQ_S01_INV_PC. Cenário determinístico frequente para um derrame de 3.600,0 m³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o inverno.

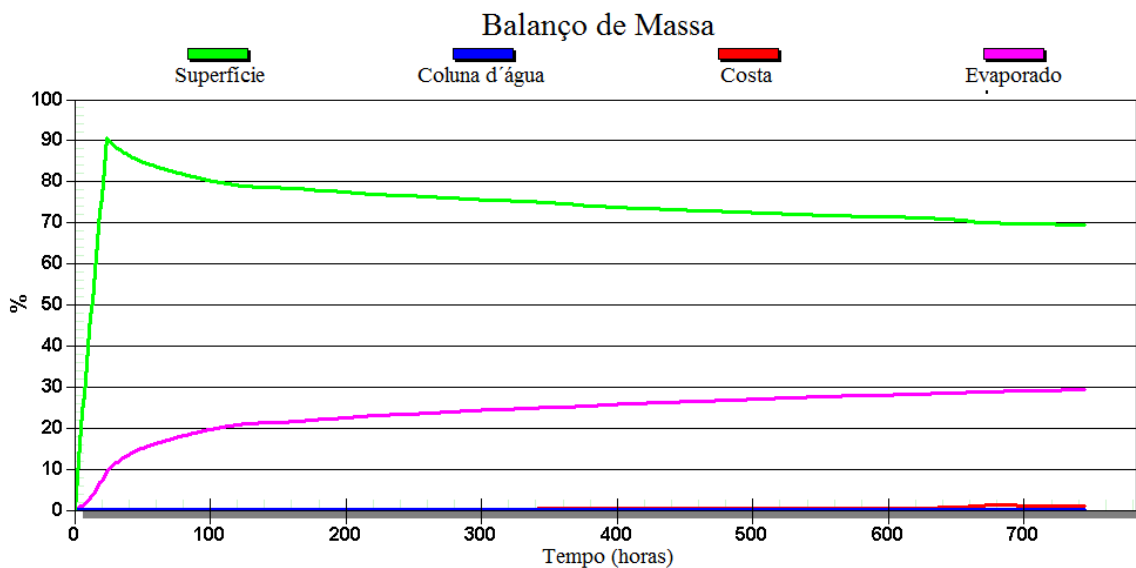


Figura III-40 - Balanço de massa do cenário DET_FREQ_S01_INV_PC.

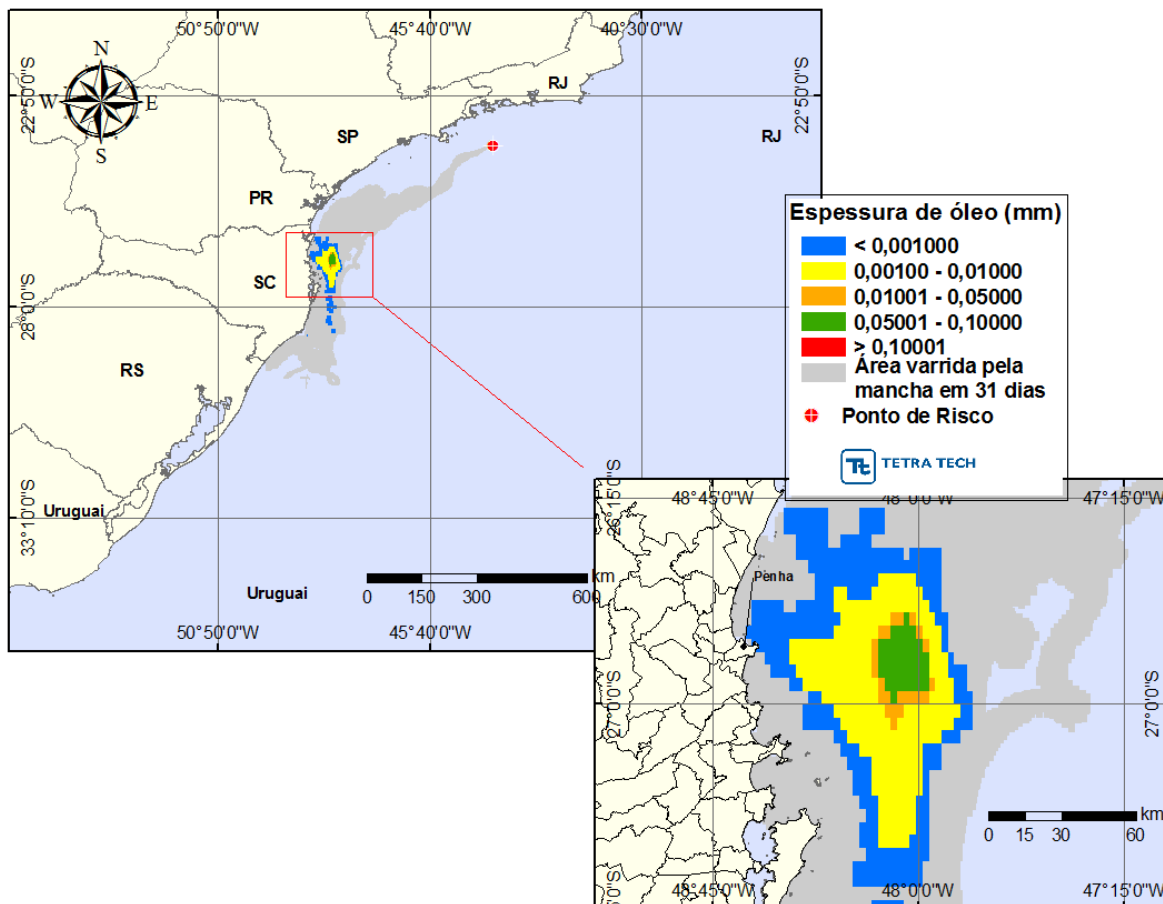


Figura III-41 - DET_FREQ_S04_INV_PC. Cenário determinístico frequente para um derrame de 3.600,0 m³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o inverno.

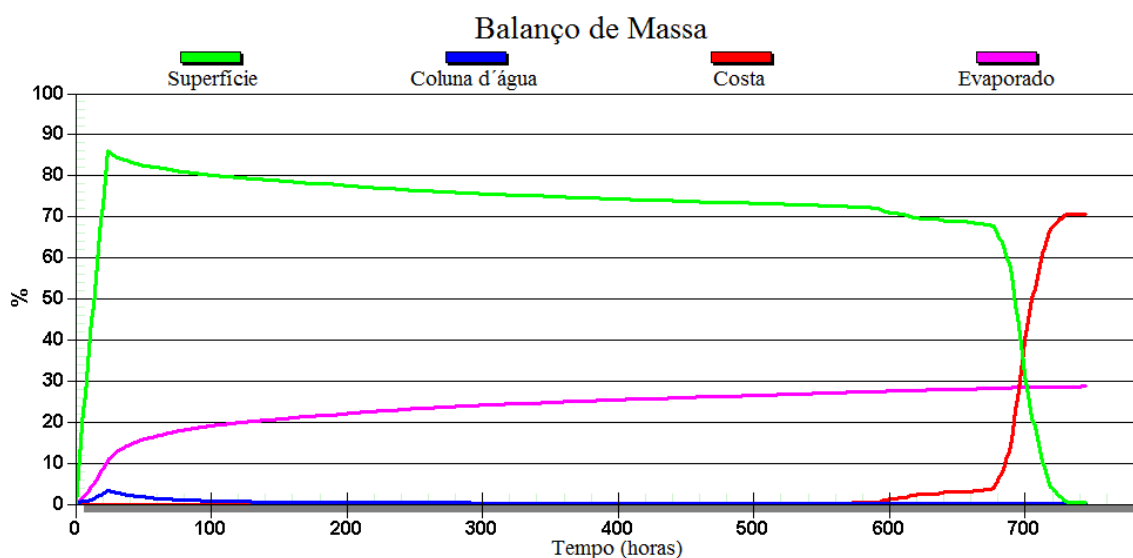


Figura III-42 - Balço de massa do cenário DET_FREQ_S04_INV_PC.

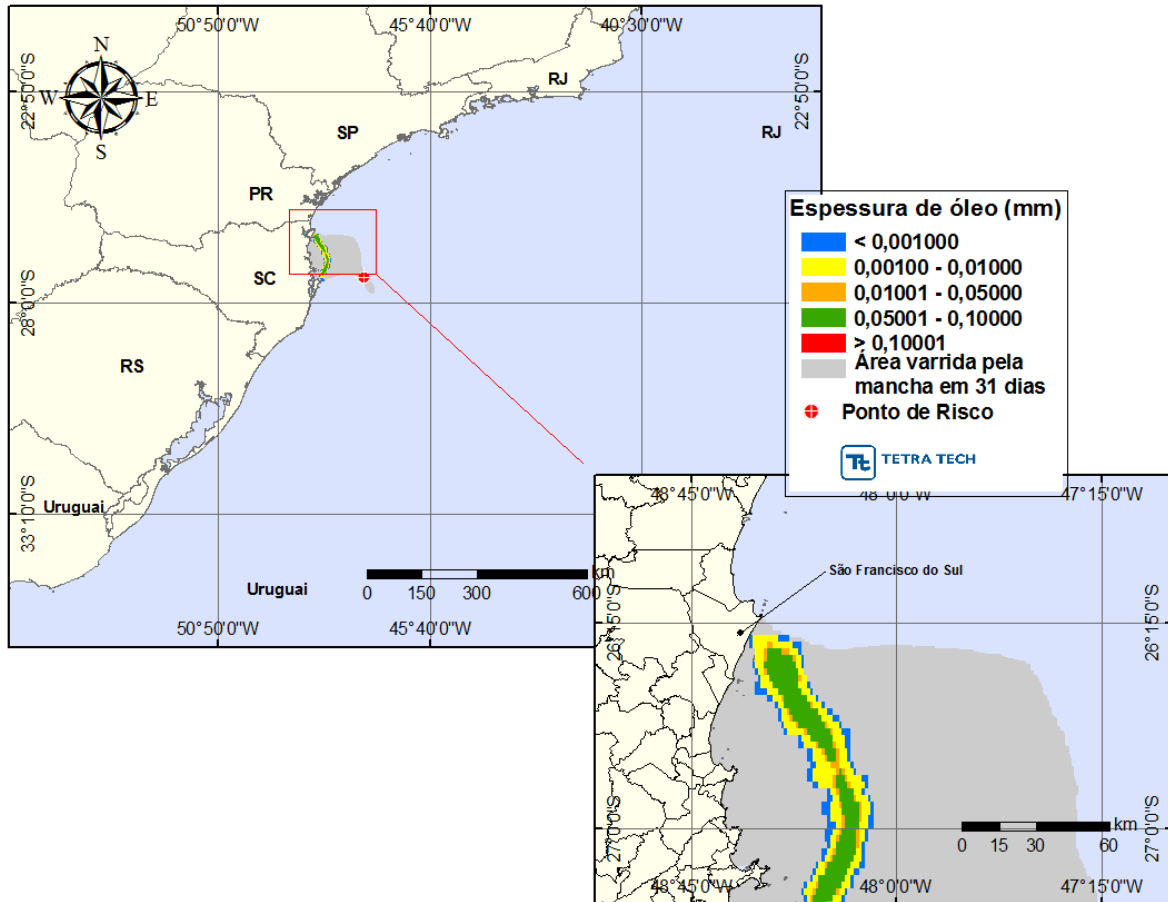


Figura III-43 - DET_FREQ_S09_INV_PC. Cenário determinístico frequente para um derrame de 3.600,0 m³ (durante 24 horas), após 31 dias de simulação, ocorrido durante o inverno.

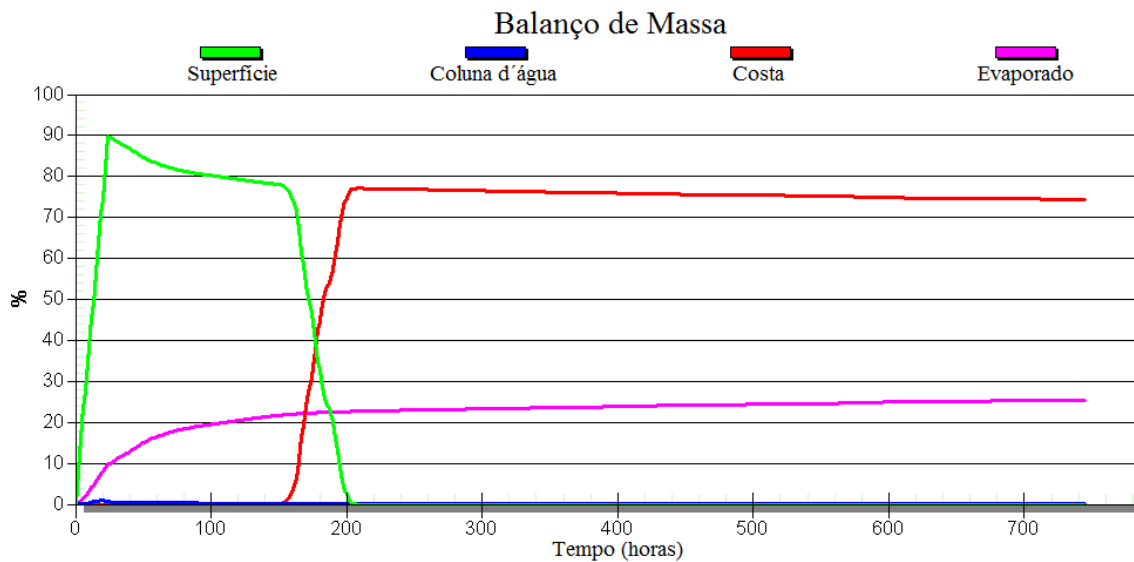


Figura III-44 - Balço de massa do cenário DET_FREQ_S09_INV_PC.

III.4 Condições Meteorológicas e Oceanográficas - Simulações Determinísticas Mais Frequentes

A seguir, são apresentadas figuras das condições meteorológicas e oceanográficas que atuaram nos cenários determinísticos para as condições mais frequentes. São apresentadas as figuras das condições meteorológicas e oceanográficas para os cenários mais frequentes que apresentaram o menor tempo de toque na costa, referentes aos pontos S04 no verão e S09 no inverno.

A Figura III-45 até Figura III-47 apresentam ilustrações das condições meteorológicas e oceanográficas para alguns instantes dos cenários determinísticos mais frequentes, de verão (ponto S04), a partir do início do derrame até o instante do primeiro toque na costa, ocorrido cerca de 330 horas após o início da simulação, no Arquipélago de Alcatrazes pertencente ao Município de Ilhabela (SP).

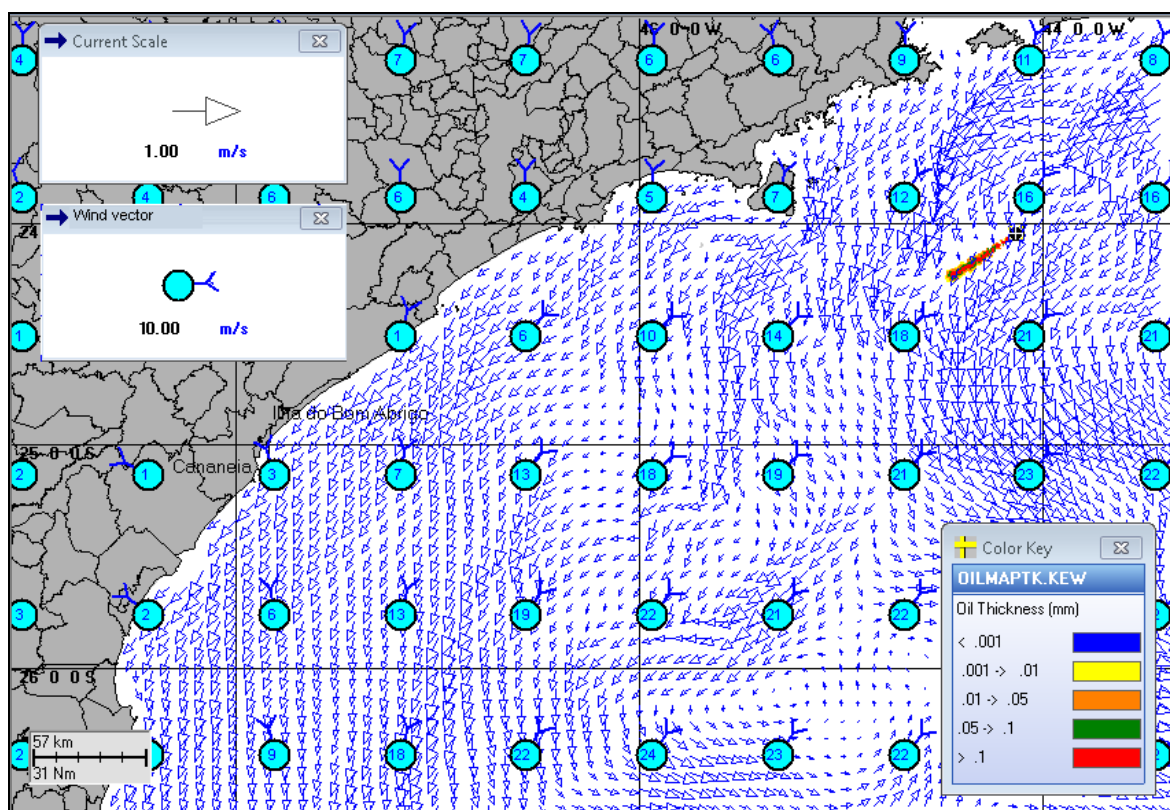


Figura III-45 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística mais frequente do ponto S04, no verão. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente-SW; Vento-NE.

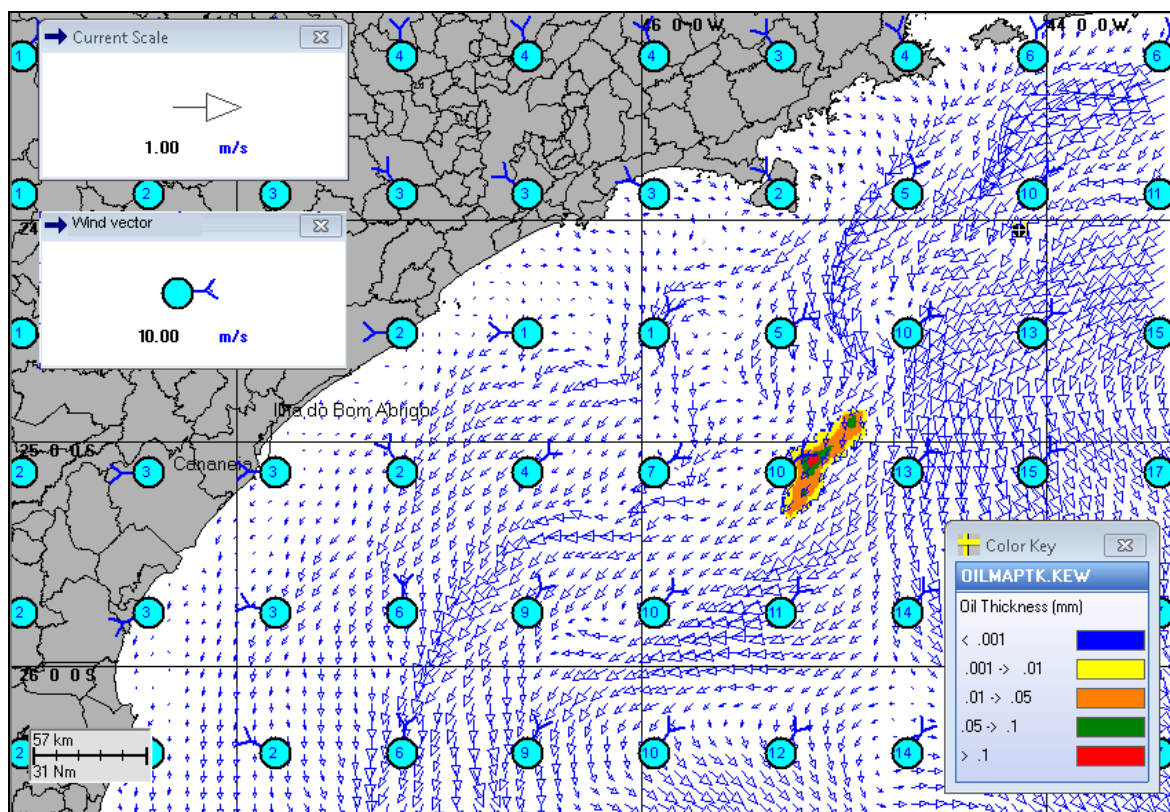


Figura III-46 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo em um instante intermediário da simulação determinística mais frequente do ponto S04, no verão. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente-SW; Vento-NE.

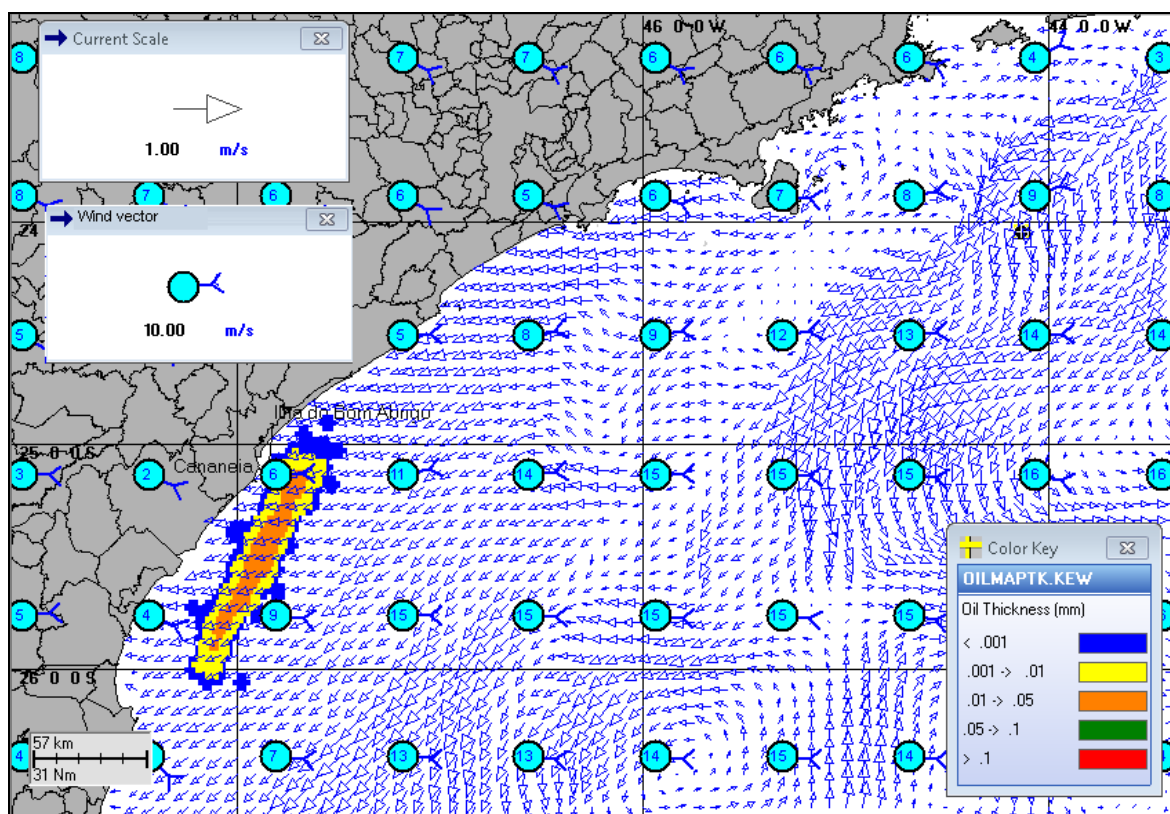


Figura III-47 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de maior proximidade da costa da simulação mais frequente do ponto S04, no verão. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente-W/SW; Vento-E.

Da Figura III-48 a Figura III-50 apresentam ilustrações das condições meteorológicas e oceanográficas para alguns instantes dos cenários determinísticos mais frequentes, de inverno (ponto S09), a partir do início do derrame até o instante do primeiro toque na costa, ocorrido em 151 horas após o início da simulação, no Município de São Francisco do Sul (SC).

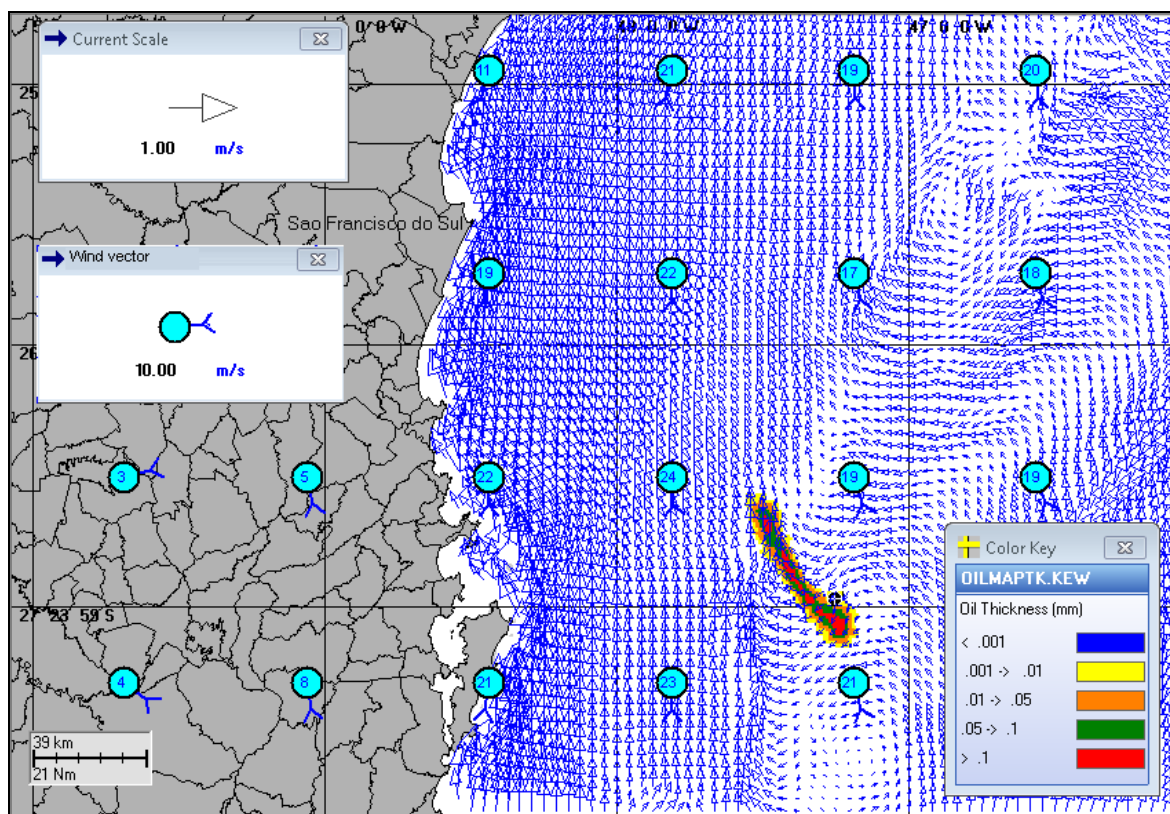


Figura III-48 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística mais frequente do ponto S09, no inverno. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente-W/SW; Vento-S.

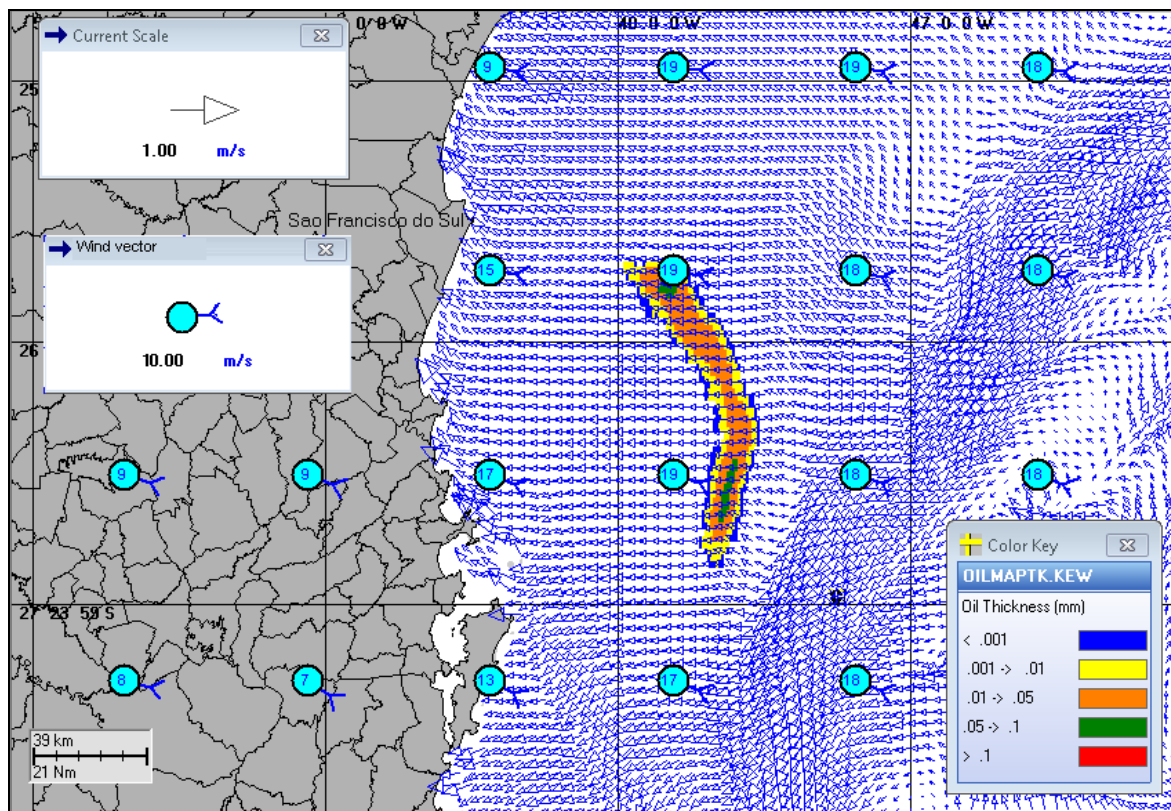


Figura III-49 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística mais frequente do ponto S09, no inverno. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente-W; Vento-SE.

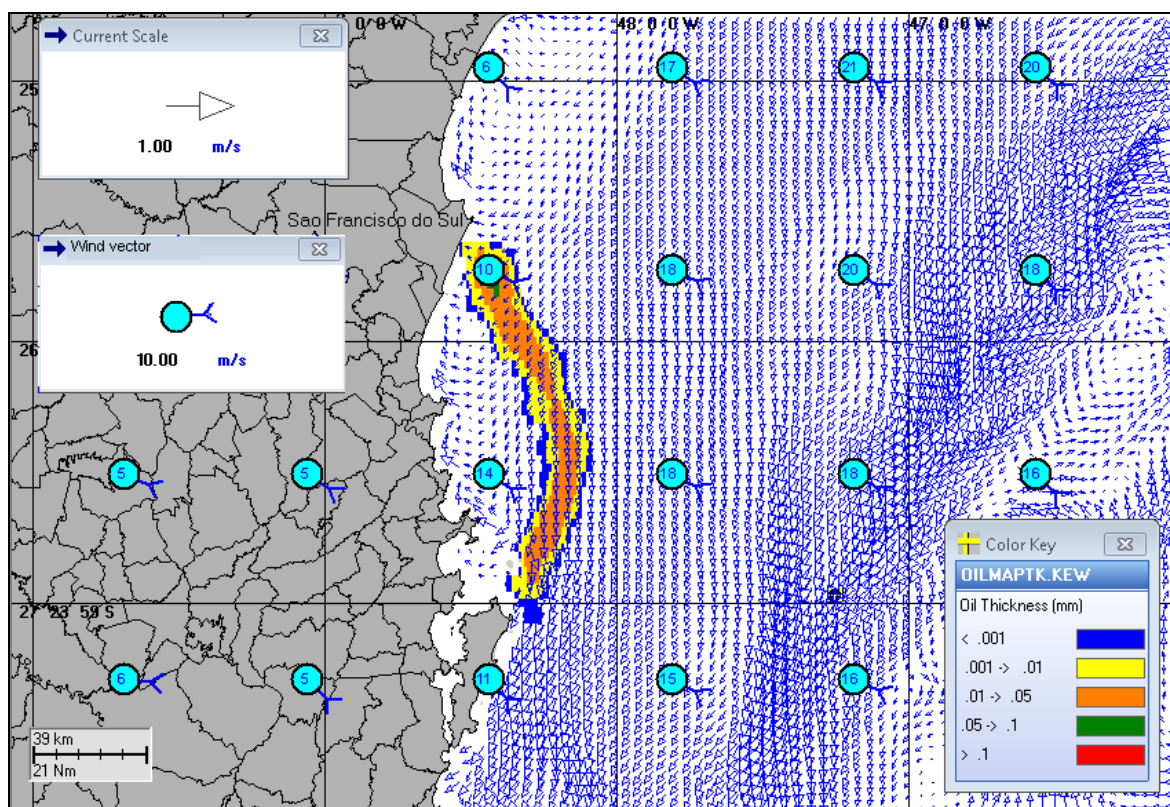


Figura III-50 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de maior proximidade da costa da simulação mais frequente do ponto S09, no inverno. Direção Predominante na mancha de óleo: Corrente-S/SW; Vento-SE.

IV CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresenta os resultados da modelagem numérica, de derrame de óleo no mar, relativos às atividades do transporte de óleo do Polo Pré-Sal, referentes à Etapa 2. Para este estudo, foram realizadas simulações de derrame de óleo de um conjunto de três pontos de modelagem.

Foram conduzidas simulações probabilísticas para duas condições sazonais (verão e inverno), três pontos de modelagem e um volume de derrame: pior caso (3.600,0 m³, derramados ao longo de 24 horas).

O critério de parada utilizado nas simulações foi o tempo de 30 dias após o final do vazamento, ou seja, as simulações foram conduzidas por 31 dias (derrame durante 24 horas). 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. Adicionalmente, foram realizadas simulações determinísticas referentes às condições meteorológicas e oceanográficas mais frequentes.

O sistema de modelos OILMAP da ASA-RPS foi utilizado para definir a área potencialmente ameaçada por derramamentos de óleo. O campo de correntes característico dos padrões de circulação na região foi obtido a partir de um modelo numérico de mesoescala, baseado no HYCOM, desenvolvido pela PETROBRAS através do projeto REMO. Enquanto o campo de ventos foi baseado em dados de Reanálise dos modelos meteorológicos do CFSR.

Os resultados sobrepostos das simulações probabilísticas realizadas mostraram que, no verão, a probabilidade de toque se estende até uma região mais ao sul, num trecho de, aproximadamente, 3.386,0 km compreendido entre os municípios costeiros de Armação dos Búzios (RJ) e Santa Vitória do Palmar (RS). Já no inverno, as simulações alcançaram uma região um pouco mais ao norte, num trecho de, aproximadamente, 2.738,4 km do Macaé (RJ) até São José do Norte (RS).

Em condições de verão, observa-se a ocorrência de mais cenários com probabilidade de toque de óleo na costa que no inverno.

As maiores probabilidades de toque na costa foram de 35% para o verão, calculadas para Parque Estadual Marinho de Santos (SP) e em Itanhaém – Ilha da Queimada Grande (SP). No inverno, a maior probabilidade de toque (35%) também foi identificada para o Parque Estadual Marinho de Santos (SP).

O menor tempo de toque na costa ocorreu no Município de Florianópolis (SC), com 69 horas, durante o inverno. No verão, o Município de Balneário Camboriú apresentou o menor tempo de toque (70 horas).

Os resultados das simulações dos cenários determinísticos críticos mostraram que o maior volume final de óleo que chega à costa foi de 25.322,0 m³ para o verão e 26.496,0 m³ para o inverno, volumes estes resultantes dos cenários de derrame a partir do ponto de modelagem S04 (verão) e S09 (inverno). Ainda com relação aos cenários determinísticos críticos, no geral, observa-se que a evaporação e a interação com a linha de costa são os principais processos responsáveis pela redução da massa de óleo nas simulações realizadas.

Nos cenários determinísticos para as condições meteorológicas e oceanográficas mais frequentes, observa-se que o menor tempo de toque calculado para estes cenários foi de 330 horas no verão e 151 horas no inverno, resultantes do derrame simulado a partir do ponto S04 e S09, respectivamente.

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

V BIBLIOGRAFIA

BLECK, R.; HALLIWELL, G. R. Jr; WALLCRAFT, A. J.; CARROLL, S. N.; KELLY, K. & RUSHING, K., 2002. User' s Manual. Details of the numerical code [online] Disponível na Internet via <WWW. URL: <http://hycom.org/hycom/documentation>>.

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

IBAMA, 2009. Nota Técnica N°02/2009/CGPEG/DILIC. Síntese dos aspectos técnicos da modelagem de transporte de óleo no mar e suas aplicações aos processos de licenciamento em E&P. Rio de Janeiro, 02 de março de 2009.

REMO (Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica), 2012. Base Hidrodinâmica SSE. Relatório Técnico, (novembro de 2012). COPPE – UFRJ. 116pp+Anexo.

CENPES (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello), 2012. Modelagem de derrame de óleo na Bacia de Santos para determinação do ano que constituirá a base hidrodinâmica da região Sudeste. RT TEO 079/2012. Relatório Parcial. Agosto 2012. 13pp.

WALLCRAFT, A. J.; METZGER, E. J. & CARROLL, S. N., 2009. Software Design Description for the HYbrid Coordinate Ocean Model (HYCOM) Version 2.2 . [online] Disponível na Internet via <WWW. URL: <http://hycom.org/hycom/documentation>>.

VI EQUIPE TÉCNICA

Equipe da Empresa Consultora Tetra Tech Consultoria Ltda.

Profissional	Ana Carolina da Rocha Lammardo
Empresa	Tetra Tech Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	1.689 (AOCEANO)
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	325047
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	TODOS
Assinatura	

Profissional	André Paim
Empresa	Tetra Tech Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	325047
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	TODOS
Assinatura	

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

Profissional	Gabriel Clauzet
Empresa	Tetra Tech Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	1031373
Responsável pela(s) Capítulo (s)	TODOS
Assinatura	

Profissional	Marco Antonio Corrêa
Empresa	Tetra Tech Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	434236
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	TODOS
Assinatura	

Profissional	Maurício Person Lammardo
Empresa	Tetra Tech Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	1.065 (AOCEANO)
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	272165
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	TODOS
Assinatura	

Profissional	Pedro Fabiano M. Sarmiento
Empresa	Tetra Tech Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	1800416
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	TODOS
Assinatura	

ANEXO A - DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE MODELOS OILMAP

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

O OILMAP é um sistema de modelos, utilizado em Planos de Contingência (LIMA *et al.*, 2003; ASA, 2003a,b,c), Planos de Emergência com acompanhamento em tempo real (PEREIRA *et al.*, 2005), Planos de Emergência Individuais (ASA, 2003d, 2004), Relatório de Controle Ambiental (ASA, 2005a) e Estudos de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) no Brasil (ASA, 2005b) e em várias regiões do mundo (JAYKO & HOWLETT, 1992; SPAULDING *et al.*, 1992a,b).

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

O sistema OILMAP inclui os seguintes modelos: um modelo de deriva e intemperismo para óleo de superfície e subsuperfície, um modelo de resposta a derramamento de óleo, modelo probabilístico, e um modelo receptor que através do método reverso localiza a origem do derramamento a partir de informações da posição da mancha.

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

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

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

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

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

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

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

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

A.1 FORMULAÇÃO DO MODELO

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

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

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

onde

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

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

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

onde

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

A componente da velocidade advectiva devida às correntes de maré, \vec{U}_t , e ao fluxo residual, \vec{U}_r , são provenientes do modelo hidrodinâmico. A velocidade de deriva devida ao vento, u_{wc} e v_{wc} (m/s), componentes Leste-Oeste e Norte-Sul, respectivamente, são:

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

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

onde

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

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

C_1 = fator de deriva (%).

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

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

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

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

onde

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

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

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

Utilizando a formulação *random walk* para a dispersão horizontal, é possível simular os processos dispersivos que ocorrem numa escala de movimento inferior à escala de resolução do campo de corrente fornecido pelos dados e ou modelo hidrodinâmico (OKUBO, 1971; OKUBO & OZMIDOV, 1970). As componentes da velocidade de dispersão da mancha, u_{dd} e v_{dd} , (m/s), são definidas (BEAR & VERRUIJT, 1987) por:

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

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

onde

D_x = coeficiente de dispersão horizontal na direção Leste-Oeste (m²/s);

D_y = coeficiente de dispersão horizontal na direção Norte-Sul (m²/s);

Δt = passo de tempo (s);

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

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

O processo de espalhamento da mancha é representado pela formulação espesso-fino de Mackay *et al.* (1980a,b, 1982), utilizando-se a abordagem de mancha espessa. O OILMAP modela apenas a mancha espessa que contém mais de 90% da massa associada à mancha. A taxa de mudança da área superficial para o espalhamento da mancha espessa (MACKAY *et al.*, 1980a), \bar{A}_{tk} (m²/s), é definida por:

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

onde

A_{tk} = área superficial da mancha (m²);

K_1 = taxa de espalhamento constante (s⁻¹);

V_m = volume da superfície da mancha (m³);

t = tempo (s).

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

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

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

onde

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

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

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

R_s = raio de uma partícula (m);

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

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

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

onde

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

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

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

O modelo de Exposição à Evaporação (STIVER & MACKAY, 1984) é uma aproximação analítica para a previsão do volume evaporado. O modelo utiliza informações da curva de destilação do óleo (curva PEV) para estimar os parâmetros necessários a esta equação analítica. A fração evaporada, F_v , é definida por:

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

onde

T_0 = ponto de ebulição inicial (K);

T_G = gradiente da curva de destilação modificada;

T = temperatura do ambiente (K);

A, B = constantes adimensionais;

θ = exposição à evaporação.

A exposição à evaporação, θ , é definida por:

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

onde

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

A = área da mancha (m²);

t = tempo (s);

V_0 = volume do derrame de óleo (m³).

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

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

$$T_B = T_0 + T_G F_v \quad (14)$$

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:

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

onde

P = pressão do vapor do óleo (atm);

V = volume do óleo (m^3);

R = constante universal dos gases;

T = temperatura ambiente (K).

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

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

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

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

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

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

onde

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

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

S = fração da superfície do mar coberta pelo óleo;

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

d = diâmetro da partícula de óleo (m);

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

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

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

onde

μ = viscosidade do óleo (cP);

ρ = densidade do óleo (g/cm^3);

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

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

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

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

onde

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

μ = viscosidade do óleo (cP);

ρ = densidade do óleo (g/cm^3).

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

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

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

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

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

onde

ρ_w = densidade da água (kg/m^3);

g = aceleração da gravidade (m/s^2);

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

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

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

onde

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

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

T_w = período de onda significativo (s).

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

$$M_e = A d t \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} Q_d d d \quad (24)$$

onde

A = área superficial da mancha (m^2);

dt = passo de tempo (s);

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

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

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

onde

H_b = altura da quebra da onda (m).

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

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

onde

d_i = diâmetro da gotícula (m);

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

ρ_0 = densidade do óleo (kg/m^3);

ρ_w = densidade da água (kg/m^3);

ν_w = viscosidade da água (m^2/s).

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

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

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

onde

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

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

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

onde

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

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

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

onde

dt = passo de tempo (s).

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

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

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

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

onde

U_w = velocidade do vento (m/s);

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

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

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

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

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

onde

μ_0 = viscosidade inicial do óleo (cP);

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

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

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

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

onde

μ_0 = viscosidade inicial do óleo (cP);

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

F_v = fração evaporada da superfície da mancha.

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

- A grade que representa a linha de costa do OILMAP (grade *land-water*) pode conter diferentes informações sobre as capacidades de retenção de óleo para cada elemento de grade. A deposição ocorre quando uma partícula de óleo cruza a linha de costa e termina quando a capacidade de absorção da superfície especificada é atingida. As partículas de óleo que posteriormente atingem um elemento de grade costeira já saturada não permanecem na superfície da costa;
- O óleo depositado na linha de costa é exponencialmente removido com o tempo, retornando à coluna d'água numa maré enchente suficientemente alta para umedecer a superfície com o óleo, aliada a ação do vento;
- A fração de massa disponível para deposição na linha de costa, F_{sh} , é:

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

onde

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

A_s = área de uma partícula na superfície.

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

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

onde

i = parâmetro do tipo de costa;

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

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

W_i = largura do elemento de grade atingido pelo óleo;

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

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

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

onde

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

t = tempo (dias);

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

A.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, sobrevoo, 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.

A.3 BIBLIOGRAFIA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

KOLLURU, V.S., 1992. Influence of Number of Spilllets on Spill Model Predictions. Applied Science Associates Internal Report, 1992.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ANEXO B - TESTES PARA DEFINIÇÃO DO NÚMERO DE SIMULAÇÕES DOS CENÁRIOS PROBABILÍSTICOS

O número de simulações adotado para a modelagem probabilística de transporte de óleo foi definido com base em testes preliminares realizados com diferentes números de simulações na Bacia de Santos. Nestes testes buscou-se identificar a quantidade mínima, ou quantidade ideal, de simulações que representa uma estabilização no padrão do deslocamento do óleo.

A seguir, são apresentados os resultados obtidos para cenários com 600 e 800 simulações, referentes a um ponto de modelagem no Bloco BM-S-9 (nas coordenadas 26°02'21,600"S e 43°49'30,106"W; *datum* SIRGAS2000), para o período de verão e hipótese acidental de pior caso (2.600.000,00 m³ ao longo de 24 horas).

Na Figura B1 são apresentados os contornos de probabilidade de óleo na água para 600 e 800 simulações. Observa-se que, apesar de o cenário com 800 simulações apresentar um aumento de 33,3 % no número de simulações utilizado no presente estudo (600 simulações), os resultados não apresentam variações significativas.

Desta forma, com base nos testes realizados, observou-se que os cenários com 600 simulações apresentam um padrão de deslocamento similar aos cenários com 800 simulações. Aumentando o número de simulações, a partir dessa quantidade, não ocorrem variações significativas nos resultados da modelagem. Devido ao elevado tempo computacional para o processamento de um maior número de simulações, optou-se pela realização de cenários probabilísticos com 600 simulações.

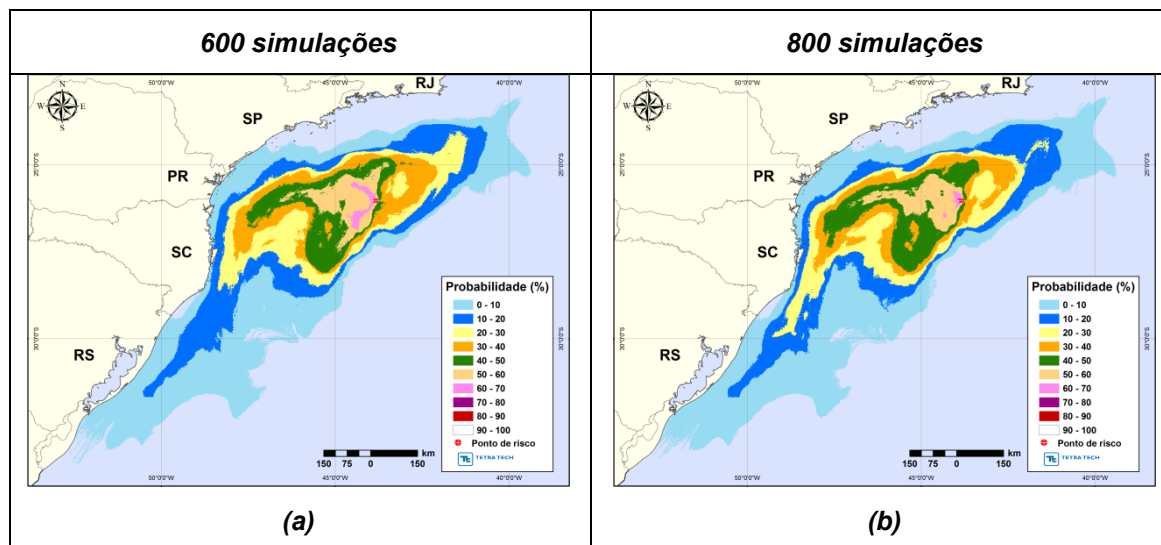


Figura B1 - Contornos de probabilidade do óleo na água (a e b) para o cenário de pior caso do ponto de modelagem P1, durante período de verão. Comparação de resultados com 600 e com 800 simulações.

ANEXO C – ANÁLISE DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E OCEANOGRÁFICAS MAIS FREQUENTES

De forma a determinar qual a direção mais frequente da corrente em cada ponto de interesse dentro dos resultados do modelo hidrodinâmico HYCOM utilizado como forçante para a modelagem da dispersão de óleo, foi produzido um histograma da direção da corrente para cada posição. Tais histogramas apresentam o número de vezes em que se registrou o fluxo de corrente para uma determinada direção ao longo da série de dados, entre 0 e 360° (a cada 5°). O eixo x apresenta as direções variando entre 0° e 360° a cada 5° e eixo Y apresenta o número de ocorrências da referida direção.

A Figura C-1 apresenta estes resultados durante o período de verão enquanto que a Figura C-2 apresenta os resultados para o período de inverno. Durante o verão, os pontos apresentam as maiores ocorrências em torno dos quadrantes W e S (180° até 270°).

Com relação ao inverno, observa-se uma maior variabilidade nos pontos S01 e S04e um padrão bem definido no ponto S09.

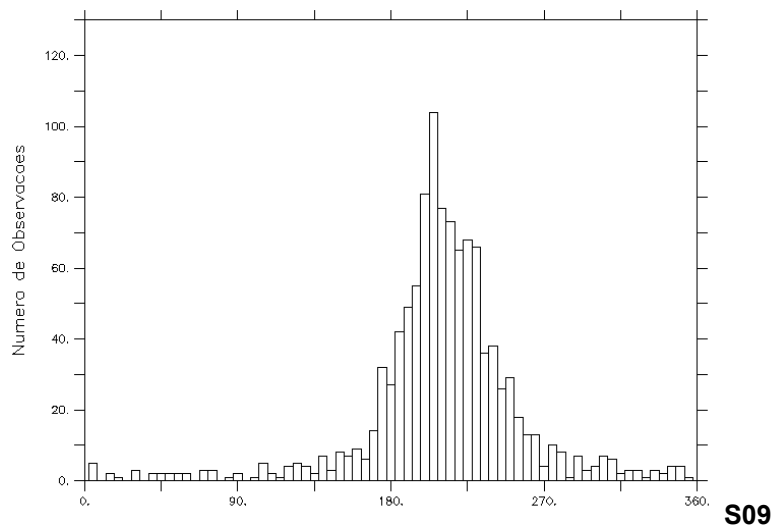
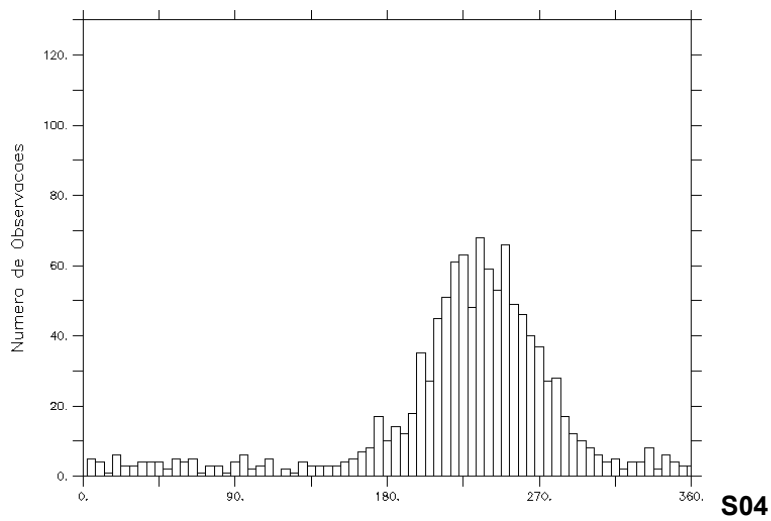
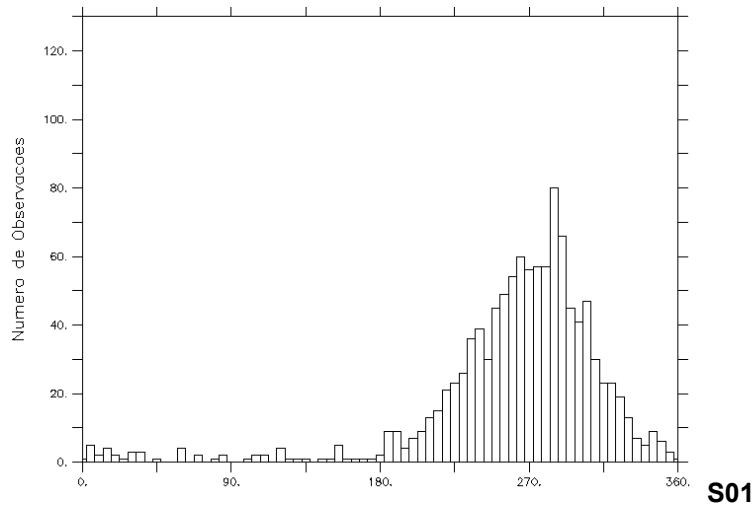


Figura C-1 - Histogramas de ocorrência de direção de corrente (considerando intervalo de 5°, em número de ocorrências) para o período de verão (janeiro a março).

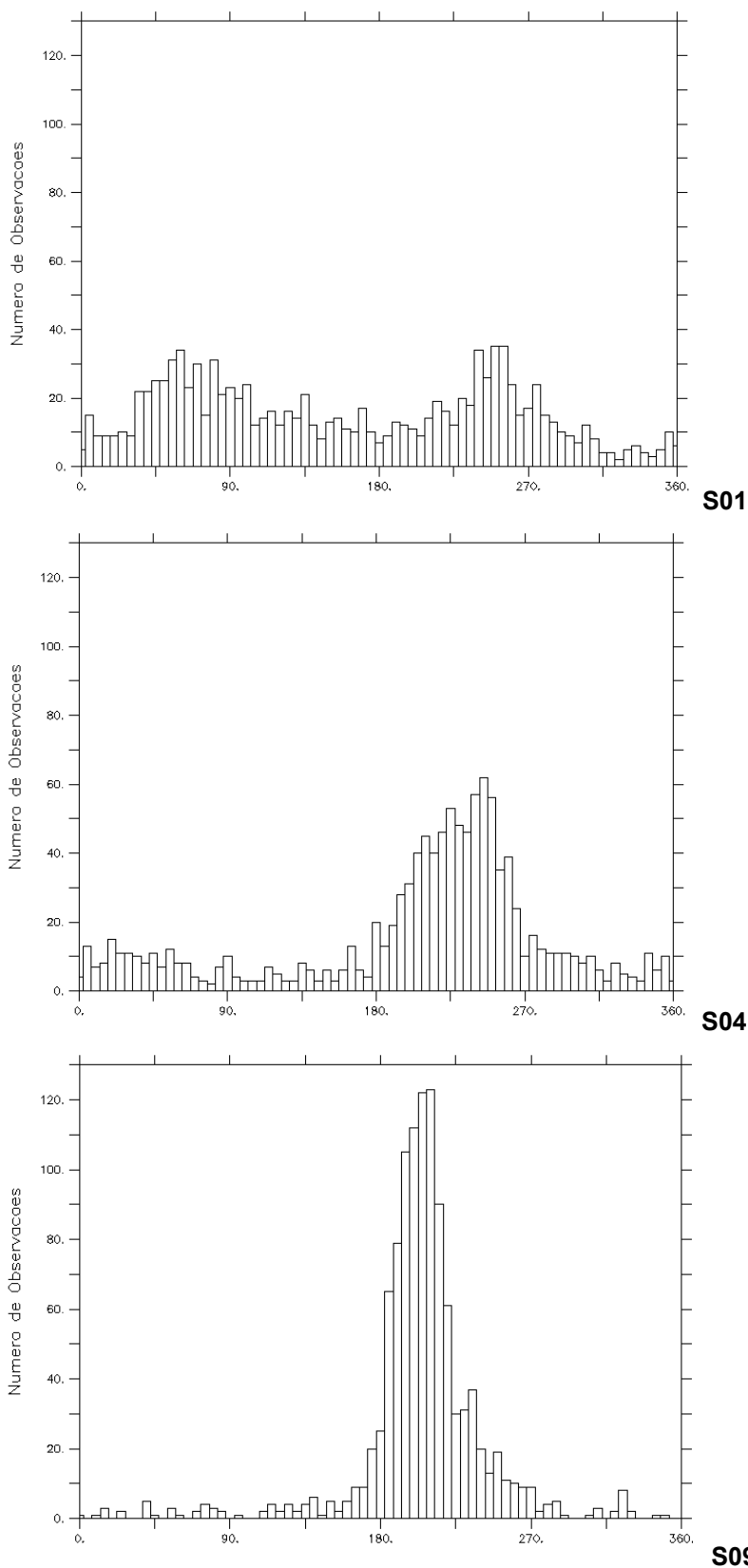


Figura C-2 - Histogramas de ocorrência de direção de corrente (considerando intervalo de 5°, em número de ocorrências) para o período de inverno (junho a agosto).

Com relação ao padrão de vento, não há grande diferença entre os períodos de verão e inverno, sendo bem marcada a predominância dos ventos de N e NNE, direção ligada à influência da Alta Subtropical do Atlântico Sul.

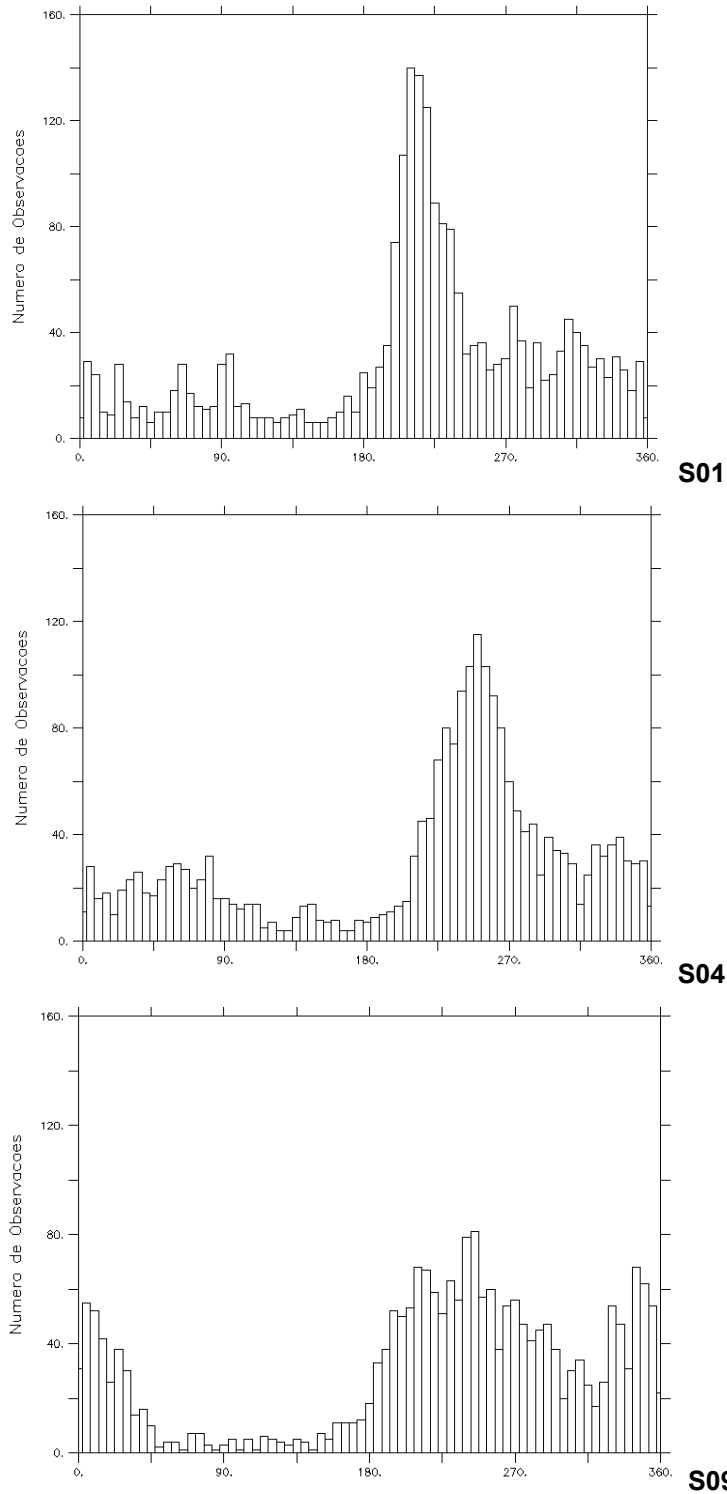
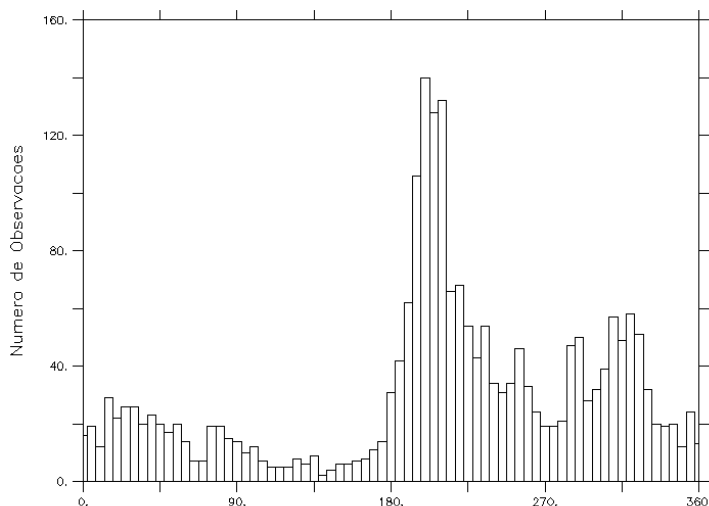
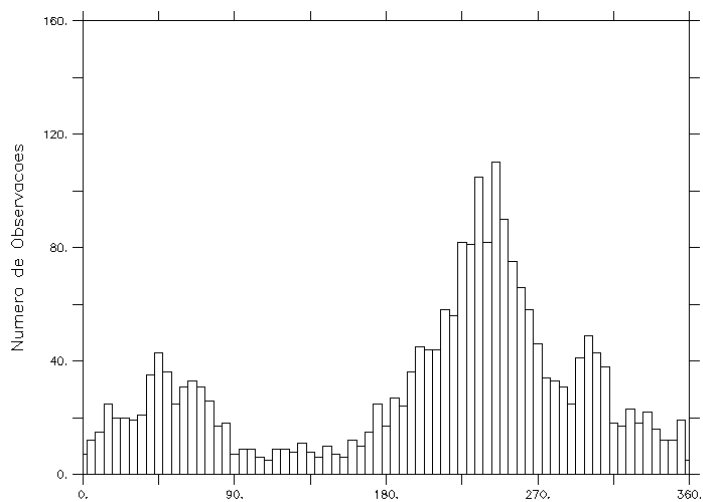


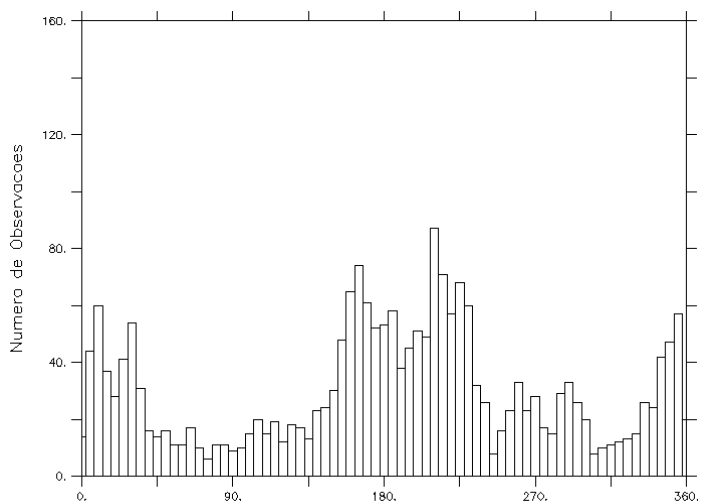
Figura C-3 - Histogramas de ocorrência de direção de vento (considerando intervalo de 5°, em número de ocorrências) para o período de verão (janeiro a março).



S01



S04



S09

Figura C-4 - Histogramas de ocorrência de direção de vento (considerando intervalo de 5°, em número de ocorrências) para o período de inverno (junho a agosto).