

# Modelagem de Vazamento de Condensado a partir do Gasoduto do Campo de Camarupim, Bacia do Espírito Santo



E&P

Revisão 00  
Out/2006

 **PETROBRAS**

# **Modelagem de Vazamento de Condensado a partir do Gasoduto do Campo de Camarupim, Bacia do Espírito Santo**

**Revisão 00  
Outubro / 2006**



**E&P**







## ÍNDICE GERAL

RESUMO .....	1
I INTRODUÇÃO .....	I-1
I.1 ÁREA DE ESTUDO .....	I-2
I.1.1 PADRÕES DE CIRCULAÇÃO NA REGIÃO .....	I-2
I.1.2 CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS DA REGIÃO.....	I-4
II MODELO HIDRODINÂMICO .....	II-1
II.1 DESCRIÇÃO DO PRINCETON OCEAN MODEL.....	II-1
II.1.1 EQUAÇÕES BÁSICAS DO POM.....	II-2
II.1.2 CONDIÇÕES DE CONTORNO ADOTADAS.....	II-5
II.2 DESCRIÇÃO DO MODELO PARALLEL OCEAN CIRCULATION MODEL .....	II-6
II.3 DOMÍNIO MODELADO E DADOS DE ENTRADA DO MODELO.....	II-6
II.3.1 DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO E BATIMETRIA .....	II-6
II.3.2 DADOS DE VENTO E MARÉ .....	II-9
II.3.3 ESTRUTURA TERMOHALINA .....	II-10
III CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDRODINÂMICO .....	III-1
III.1 CALIBRAÇÃO PARA O NÍVEL DO MAR .....	III-2
III.2 CALIBRAÇÃO PARA AS CORRENTES.....	III-3
III.3 RESUMO DA BASE HIDRODINÂMICA UTILIZADA .....	III-6
IV MODELAGEM DE DERRAME DE CONDENSADO.....	IV-1
IV.1 MODELO CHEMMAP .....	IV-1
IV.1.1 FORMULAÇÃO DO MODELO.....	IV-4
IV.2 DADOS DE ENTRADA.....	IV-21
V MODELAGEM DE DERIVA DE CONDENSADO PARA UM VAZAMENTO NO GASODUTO DO CAMPO DE CAMRUPIM .....	V-1
V.1 DADOS DE ENTRADA.....	V-1
V.1.1 CAMPO DE CORRENTES .....	V-2
V.1.2 DADOS DE VENTO .....	V-2
V.1.3 PONTO DE RISCO E VOLUME .....	V-3
V.1.4 CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO UTILIZADO .....	V-4
V.2 RESUMO DOS CENÁRIOS SIMULADOS .....	V-9

---

VI	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PARA UM VAZAMENTO DE CONDENSADO NO GASODUTO DO CAMPO DE CAMARUPIM .....	VI-1
VI.1	SIMULAÇÕES DA PARCELA GASOSA .....	VI-1
VI.1.1	SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS .....	VI-1
VI.1.2	SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS CRÍTICAS .....	VI-15
VI.2	SIMULAÇÕES DA PARCELA LÍQUIDA .....	VI-17
VI.2.1	SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS .....	VI-17
VI.2.2	SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS CRÍTICAS .....	VI-37
VII	CONCLUSÕES .....	VII-1
VIII	BIBLIOGRAFIA .....	VIII-1
IX	EQUIPE TÉCNICA .....	IX-1

**TABELAS**

<b>TABELA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Tabela II.2-1</b> - Resumo dos dados de entrada do <i>Parallel Ocean Climate Model</i> (POCM).	II-6
<b>Tabela V.1.2-1</b> - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento para o ano de 1992, na Bacia de Campos.	V-3
<b>Tabela V.1.3-1</b> - Coordenadas (WGS 84) do ponto de risco de vazamento no Gasoduto do Campo de Camarupim, Bacia do Espírito Santo.	V-3
<b>Tabela V.1.4-1</b> - Características do condensado utilizado nas simulações de vazamento no Campo de Camarupim.	V-4
<b>Tabela V.1.4-2</b> - Composição do condensado do Gasoduto do Campo de Camarupim.	V-5
<b>Tabela V.2-1</b> - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de vazamentos de condensado, considerando a parcela gasosa, no Gasoduto do Campo de Camarupim.	V-10
<b>Tabela V.2-2</b> - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de vazamentos de condensado, considerando a parcela líquida, no Gasoduto do Campo de Camarupim.	V-10
<b>Tabela VI.1.2-1</b> - Concentrações (ppb) de condensado dissolvido da coluna d'água ao longo de 45 e 36 horas de simulação, para os cenários determinísticos críticos de verão e de inverno, respectivamente.	VI-15
<b>Tabela VI.2.2-1</b> - Concentrações (ppb) de condensado dissolvido da coluna d'água ao longo de 24 horas de simulação, para os cenários determinísticos críticos de verão e de inverno.	VI-37



## FIGURAS

FIGURA	PÁG.
<b>Figura I.1-1</b> - Localização do ponto de vazamento no Gasoduto do Campo de Camarupim, Bacia do Espírito Santo.	I-2
<b>Figura I.1.2-1</b> - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento à 10 m no período de verão.	I-4
<b>Figura I.1.2-2</b> - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento à 10 m no período de inverno.	I-5
<b>Figura II.3.1-1</b> - Grade computacional utilizada nas simulações da circulação hidrodinâmica da Bacia do Espírito Santo.	II-7
<b>Figura II.3.1-2</b> - Base batimétrica para modelagem hidrodinâmica.	II-8
<b>Figura II.3.1-3</b> - Batimetria discretizada do domínio considerado na região sul-sudeste brasileira.	II-9
<b>Figura II.3.3-1</b> - Campos termohalinos da Climatologia LEVITUS: (a) temperatura no verão; (b) temperatura no inverno; (c) salinidade no verão e (d) salinidade no inverno.	II-10
<b>Figura III.1-1</b> - Série temporal de maré (azul) e a elevação calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 19 e 21 de agosto de 1992.	III-2
<b>Figura III.2-1</b> - Séries temporais da elevação FEMAR (azul) e das componentes $u$ (E-W) e $v$ (N-S) dos dados PETROBRAS (azul) e as reproduzidas pelo modelo (vermelho).	III-3
<b>Figura III.2-2</b> - Espectros de amplitude das componentes $u$ (E-W) (azul) e $v$ (N-S) (vermelho) dos dados de corrente da PETROBRAS.	III-4
<b>Figura III.2-3</b> - Séries temporais do sinal de baixa frequência das componentes $u$ (E-W) e $v$ (N-S) dos dados de corrente da PETROBRAS (azul) e as calculadas pelo modelo (vermelho), entre os dias 14 e 19 de agosto de 1992.	III-5
<b>Figura III.2-4</b> - Séries temporais do sinal de baixa frequência das componentes $u$ (E-W) e $v$ (N-S) dos dados PETROBRAS (azul) e calculada pelo modelo (vermelho), entre os dias 22 de julho e 2 de setembro de 1992, utilizados na calibração da corrente média residual.	III-6
<b>Figura III.3-1</b> - Exemplo ilustrativo de campo de velocidades obtidos com o modelo hidrodinâmico no ano de 1992.	III-7
<b>Figura V.1-1</b> - Grade definindo os contornos de terra (grade <i>habitat</i> ) para a modelagem de deriva de condensado no Campo de Camarupim: (a) células e (b) tipos de <i>habitats</i> .	V-1

FIGURA	PÁG.
<b>Figura V.1.2-1</b> - Diagrama de dispersão do vento para o ano de 1992, na Bacia de Campos.	V-2
<b>Figura V.1.4-1</b> - Balanço de massa para os cenários determinísticos-teste de vazamento de metano no Gasoduto do Campo de Camarupim, no (a) verão e (b) inverno.	V-7
<b>Figura V.1.4-2</b> - Balanço de massa para os cenários determinísticos-teste de vazamento de etano no Gasoduto do Campo de Camarupim, no (a) verão e (b) inverno.	V-7
<b>Figura V.1.4-3</b> - Balanço de massa para os cenários determinísticos-teste de vazamento de propano no Gasoduto do Campo de Camarupim, no (a) verão e (b) inverno.	V-7
<b>Figura V.1.4-4</b> - Balanço de massa para os cenários determinísticos-teste de vazamento de heptano no Gasoduto do Campo de Camarupim, no (a) verão e (b) inverno.	V-8
<b>Figura V.1.4-5</b> - Balanço de massa para os cenários determinísticos-teste de vazamento de octano no Gasoduto do Campo de Camarupim, no (a) verão e (b) inverno.	V-8
<b>Figura VI.1.1-1</b> - Cenário CAM_COND_VER_2422_1H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 9,3 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 2.421,9 m <sup>3</sup> após 1 hora.	VI-2
<b>Figura VI.1.1-2</b> - Cenário CAM_COND_INV_2422_1H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 9,3 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 2.421,9 m <sup>3</sup> após 1 hora.	VI-3
<b>Figura VI.1.1-3</b> - Cenário CAM_COND_VER_2422_6H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 9,3 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 2.421,9 m <sup>3</sup> após 6 horas.	VI-4
<b>Figura VI.1.1-4</b> - Cenário CAM_COND_INV_2422_6H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 9,3 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 2.421,9 m <sup>3</sup> após 6 horas.	VI-5

FIGURA	PÁG.
<b>Figura VI.1.1-5</b> - Cenário CAM_COND_VER_2422_9H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 9,3 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 2.421,9 m <sup>3</sup> após 9 horas.	VI-6
<b>Figura VI.1.1-6</b> - Cenário CAM_COND_INV_2422_9H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 9,3 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 2.421,9 m <sup>3</sup> após 9 horas.	VI-7
<b>Figura VI.1.1-7</b> - Cenário CAM_COND_VER_2422_12H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 9,3 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 2.421,9 m <sup>3</sup> após 12 horas.	VI-8
<b>Figura VI.1.1-8</b> - Cenário CAM_COND_INV_2422_12H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 9,3 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 2.421,9 m <sup>3</sup> após 12 horas.	VI-9
<b>Figura VI.1.1-9</b> - Cenário CAM_COND_VER_2422_36H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 9,3 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 2.421,9 m <sup>3</sup> após 36 horas.	VI-10
<b>Figura VI.1.1-10</b> - Cenário CAM_COND_INV_2422_36H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 9,3 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 2.421,9 m <sup>3</sup> após 36 horas.	VI-11
<b>Figura VI.1.1-11</b> - Cenário CAM_COND_VER_2422_45H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 9,3 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 2.421,9 m <sup>3</sup> após 45 horas.	VI-12
<b>Figura VI.1.1-12</b> - Cenário CAM_COND_VER_2422_45H. Média das máximas concentrações (ppb) de condensado na coluna d'água para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 2.421,9 m <sup>3</sup> , ao longo de 45 horas.	VI-13

FIGURA	PÁG.
<b>Figura VI.1.1-13</b> - Cenário CAM_COND_INV_2422_36H. Média das máximas concentrações (ppb) de condensado na coluna d'água para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 2.421,9 m <sup>3</sup> , ao longo de 36 horas.	VI-14
<b>Figura VI.1.2-1</b> - Cenário determinístico crítico para um vazamento de condensado ocorrido no Gasoduto do Campo de Camarupim, no período de verão (janeiro a março), após 36 horas.	VI-16
<b>Figura VI.1.2-2</b> - Cenário determinístico crítico para um vazamento de condensado ocorrido no Gasoduto do Campo de Camarupim, no período de inverno (junho a agosto), após 12 horas.	VI-17
<b>Figura VI.2.1-1</b> - Cenário CAM_COND_VER_62_1H. Contornos de probabilidade de condensado na superfície d'água para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 62,62 m <sup>3</sup> após 1 hora.	VI-19
<b>Figura VI.2.1-2</b> - Cenário CAM_COND_VER_62_1H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 3,85 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 62,62 m <sup>3</sup> após 1 hora.	VI-20
<b>Figura VI.2.1-3</b> - Cenário CAM_COND_INV_62_1H. Contornos de probabilidade de condensado na superfície d'água para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 62,62 m <sup>3</sup> após 1 hora.	VI-21
<b>Figura VI.2.1-4</b> - Cenário CAM_COND_INV_62_1H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 3,85 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 62,62 m <sup>3</sup> após 1 hora.	VI-22
<b>Figura VI.2.1-5</b> - Cenário CAM_COND_VER_62_6H. Contornos de probabilidade de condensado na superfície d'água para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 62,62 m <sup>3</sup> após 6 horas.	VI-23

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura VI.2.1-6</b> - Cenário CAM_COND_VER_62_6H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 3,85 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 62,62 m <sup>3</sup> após 6 horas.	VI-24
<b>Figura VI.2.1-7</b> - Cenário CAM_COND_INV_62_6H. Contornos de probabilidade de condensado na superfície d'água para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 62,62 m <sup>3</sup> após 6 horas.	VI-25
<b>Figura VI.2.1-8</b> - Cenário CAM_COND_INV_62_6H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 3,85 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 62,62 m <sup>3</sup> após 6 horas.	VI-26
<b>Figura VI.2.1-9</b> - Cenário CAM_COND_VER_62_9H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 3,85 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 62,62 m <sup>3</sup> após 9 horas.	VI-27
<b>Figura VI.2.1-10</b> - Cenário CAM_COND_INV_62_9H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 3,85 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 62,62 m <sup>3</sup> após 9 horas.	VI-28
<b>Figura VI.2.1-11</b> - Cenário CAM_COND_VER_62_12H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 3,85 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 62,62 m <sup>3</sup> após 12 horas.	VI-29
<b>Figura VI.2.1-12</b> - Cenário CAM_COND_INV_62_12H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 3,85 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 62,62 m <sup>3</sup> após 12 horas.	VI-30
<b>Figura VI.2.1-13</b> - Cenário CAM_COND_VER_62_24H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 3,85 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 62,62 m <sup>3</sup> após 24 horas.	VI-31

FIGURA	PÁG.
<b>Figura VI.2.1-14</b> - Cenário CAM_COND_VER_62_24H. Média das máximas massas por unidade de área ( $\text{g/m}^2$ ) de condensado na superfície d'água para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de $62,62 \text{ m}^3$ , ao longo de 24 horas.	VI-33
<b>Figura VI.2.1-15</b> - Cenário CAM_COND_VER_62_24H. Média das máximas concentrações (ppb) de condensado na coluna d'água para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de $62,62 \text{ m}^3$ , ao longo de 24 horas.	VI-34
<b>Figura VI.2.1-16</b> - Cenário CAM_COND_INV_62_12H. Média das máximas massas por unidade de área ( $\text{g/m}^2$ ) de condensado na superfície d'água para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de $62,62 \text{ m}^3$ , ao longo de 12 horas.	VI-35
<b>Figura VI.2.1-17</b> - Cenário CAM_COND_INV_62_12H. Média das máximas concentrações (ppb) de condensado na coluna d'água para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de $62,62 \text{ m}^3$ , ao longo de 12 horas.	VI-36
<b>Figura VI.2.2-1</b> - Cenário determinístico crítico para um vazamento de condensado ocorrido no Gasoduto do Campo de Camarupim, no período de verão (janeiro a março), após 24 horas.	VI-38
<b>Figura VI.2.2-2</b> - Cenário determinístico crítico para um vazamento de condensado ocorrido no Gasoduto do Campo de Camarupim, no período de inverno (junho a agosto), após 12 horas.	VI-39





## RESUMO

O sistema de modelos CHEMMAP da *Applied Science Associates (ASA), Inc.* foi utilizado para definir a área potencialmente ameaçada por derramamentos de condensado, decorrentes de um vazamento no Gasoduto do Campo de Camarupim, localizado na Bacia do Espírito Santo.

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

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

Para a determinação a área de influência do descarte de condensado foram conduzidas simulações probabilísticas em sub-superfície, considerando a variação sazonal das forçantes meteorológicas e oceanográficas, sendo selecionados para isso os períodos de verão (janeiro a março) e inverno (junho a agosto). As simulações foram feitas a partir de um ponto de vazamento, localizado, aproximadamente, 9,2 km da costa, considerando um volume de 2.577 m<sup>3</sup> com descarte ao longo de 1 minuto. Uma vez que o condensado é composto por duas parcelas principais de *n*-alcanos que apresentam comportamentos distintos (uma parcela gasosa e outra líquida, à temperatura e pressão ambientes), as simulações foram divididas em: (a) parcela gasosa, com volume de 2.421,90 m<sup>3</sup> (correspondente a 93,98% do volume total); e (b) parcela líquida, com volume de 56,44 m<sup>3</sup> (correspondente a 2,19% do volume total). A partir dos resultados dessas simulações probabilísticas foram selecionados os cenários determinísticos críticos (de cada uma das duas parcelas), para



condições de verão e inverno, utilizando como critério de seleção as maiores concentrações de condensado dissolvidos na coluna d'água.

Os resultados da modelagem da parcela gasosa mostraram que, mais de 80% do volume total desta evapora em até 14 horas de simulação, sendo que a evaporação de 90% ocorre em um período aproximado de 45 horas no verão e 36 horas no inverno. Somente uma pequena parcela permanece dissolvida na coluna d'água, ao longo do tempo simulado, com concentrações máximas inferiores ao critério ambiental utilizado.

Com relação à parcela líquida do condensado, os resultados de verão mostraram que, na primeira hora do derrame, aproximadamente 35% da parcela líquida encontra-se na superfície d'água. Uma hora após o derrame, aproximadamente, 20% do volume derramado está presente, diminuindo para menos de 10% em 24 horas. De forma semelhante, no inverno, aproximadamente 20% da parcela líquida do condensado encontra-se na superfície d'água na primeira hora. Três horas após o derrame, as concentrações apresentadas correspondem 20% do volume derramado, sofrendo evaporação de 90% em, aproximadamente, 12 horas de simulação.

## I INTRODUÇÃO

Com o objetivo de dar suporte a PETROBRAS no desenvolvimento de Estudos Ambientais na Bacia do Espírito Santo, apresenta-se este trabalho de modelagem computacional da trajetória e intemperismo de condensado, decorrente de um vazamento no Campo de Camarupim.

Para simular a dispersão da mancha de condensado foi utilizado o modelo CHEMMAP, desenvolvido pela **Applied Science Associates (ASA), Inc.** Este modelo simula a dispersão e a distribuição de produtos químicos na superfície e coluna d'água, nos sedimentos e na costa (margens). Com os resultados das simulações é possível determinar a probabilidade de ocorrência e a concentração dos compostos químicos considerados.

Para estudos de modelagem como o realizado neste trabalho, são necessários: (a) um conhecimento detalhado das características geomorfológicas do local (morfologia da linha de costa e fundo oceânico), (b) padrões de circulação local e em larga escala, (c) séries temporais de vento de longa duração (preferencialmente de bóias *offshore* e/ou estação meteorológica costeira) e (d) características físico-químicas dos constituintes presentes no produto simulado.

A caracterização dos padrões de circulação na região foi realizada a partir de resultados de um modelo desenvolvido pela equipe da **ASA SOUTH AMERICA**, baseado no *Princeton Ocean Model* (POM), para simular as condições na plataforma continental, e resultados do *Parallel Ocean Climate Model* (POCM) para simular as condições no talude continental e oceano profundo.

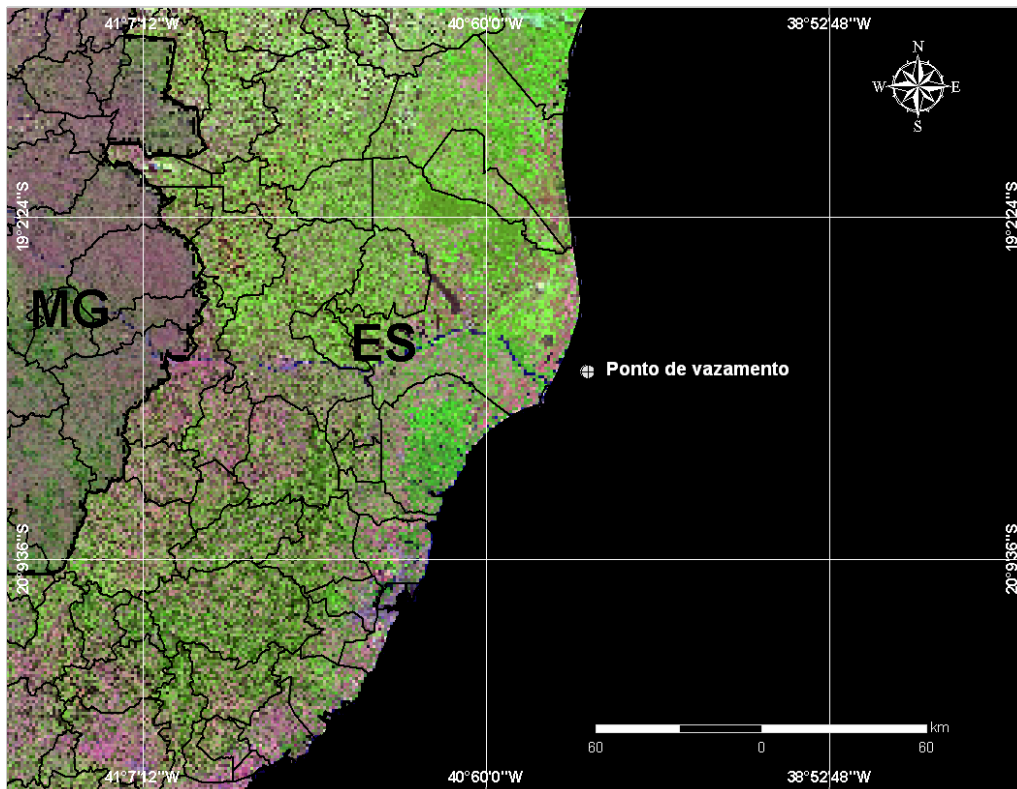
Para a modelagem de transporte da mancha de condensado foram utilizados dados de vento obtidos da bóia oceanográfica da PETROBRAS localizada no Campo de Albacora, nas coordenadas 22°30'S e 40°W.

O Capítulo I discute o propósito do estudo e fornece informações sobre a área de estudo. O Capítulo II descreve o modelo hidrodinâmico e o Capítulo III apresenta a calibração do mesmo. O Capítulo IV descreve o modelo CHEMMAP utilizado na modelagem dos cenários acidentais de condensado. O Capítulo V apresenta os cenários simulados, suas características e os dados de entrada. Os

resultados das simulações probabilísticas e determinísticas são apresentados no Capítulo VI.

## I.1 ÁREA DE ESTUDO

A figura I.1-1 apresenta a localização do ponto de vazamento localizado no Gasoduto do Campo de Camarupim, Bacia do Espírito Santo, para o qual foram realizadas simulações de um potencial acidente com derrame de condensado no mar.



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

### I.1.1 Padrões de Circulação na Região

A circulação oceânica nesta área é determinada por forçantes variadas, que se sobrepõem de modo diferenciado, dependendo de fatores morfológicos e dinâmicos locais. Sobre a plataforma há amplificação natural do sinal de maré e

intensificação dos padrões meteorológicos locais, *i.e.*, brisa marinha. Sobreposto a estes sinais existe a presença energética da passagem de frentes, com pronunciada causalidade remota. No oceano profundo a composição da passagem de frentes e do fluxo determinado pela Corrente do Brasil (CB) é preponderante. Considerando-se o relativo conhecimento existente sobre a circulação da maré na região, o principal padrão no oceano a ser descrito é a CB.

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

As primeiras medições diretas foram feitas por Evans & Signorini (1985), nas latitudes de 20°30'S e 23°S, as quais apresentaram um fluxo confinado aos primeiros 400 m de profundidade, com uma contra-corrente no sentido norte abaixo destes 400 m iniciais. Na parte norte da área, acima do Cabo de São Tomé, a direção da corrente é para 180°, variando para 220° na região de Cabo Frio. Esta mudança afeta significativamente a CB, induzindo a formação de vórtices e meandros. O volume estimado transportado pela CB na região da quebra da plataforma e do talude na latitude de 22°S é de  $5,5 \pm 2,6$  Sv (Lima, 1997).

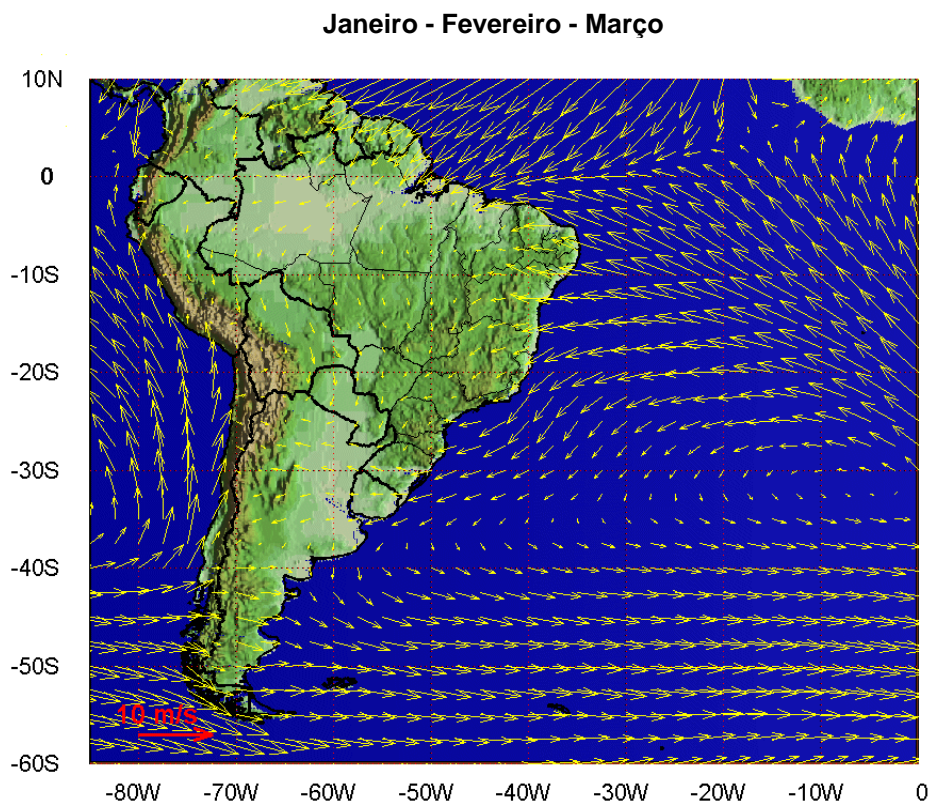
Imagens AVHRR, usadas por Garfield (1990), indicam um padrão de meandramento regular entre o Cabo de São Tomé e Cabo Frio, com a separação ocasional de vórtices ciclônicos. Nos primeiros 100 m da coluna d'água, em algumas regiões sobre o talude continental, a velocidade da corrente pode chegar a 1,0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

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

## I.1.2 Características Meteorológicas da Região

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

A variabilidade sazonal do padrão de ventos na região sudeste devido ao deslocamento da ASAS é caracterizado pelo predomínio de ventos de nordeste no verão e ventos de leste no inverno. Este padrão é ilustrado na figura I.1.2-1 e na figura I.1.2-2, que apresentam o comportamento sazonal da circulação atmosférica obtida através da média de 12 anos (1990 – 2001) das reanálises do modelo de circulação geral do NCEP<sup>1</sup>. Nessa análise foram utilizados dados de vento na altura de 10 m. Observa-se a mudança do posicionamento sazonal da ASAS e o padrão de ventos gerados por esse sistema.

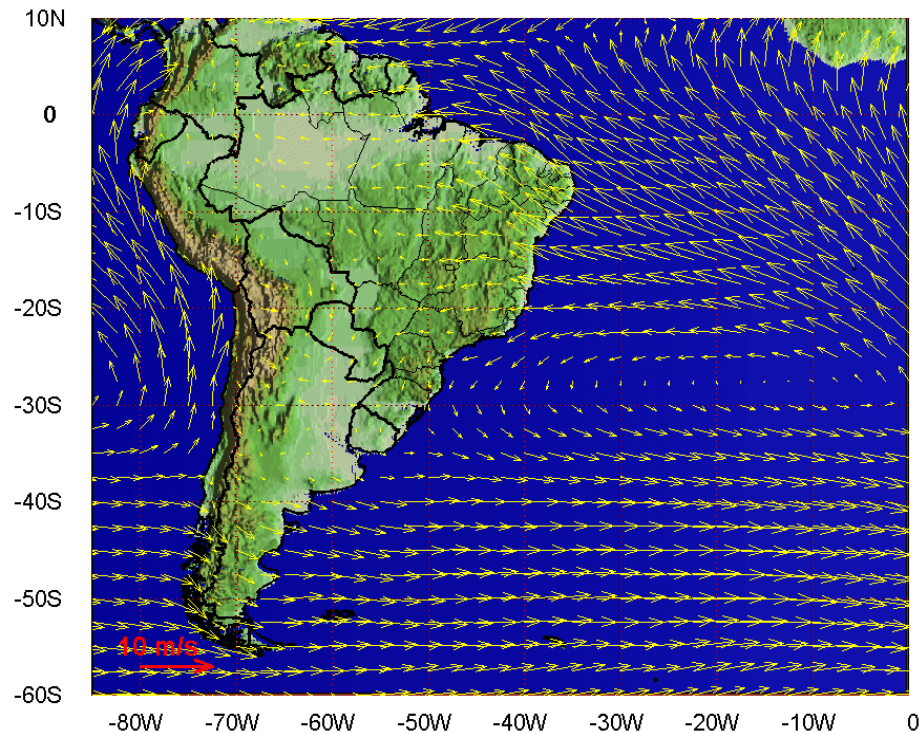


**Figura I.1.2-1** - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento à 10 m no período de verão.

<sup>1</sup> National Centers for Environmental Prediction.



## Junho - Julho - Agosto



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

Os sistemas frontais atuam durante o ano todo sobre o Brasil com freqüências maiores nas latitudes mais altas e menores nas latitudes mais baixas, como se pode notar no estudo de Oliveira (1986). De acordo com o Boletim de Monitoramento e Análise Climática (Climanálise, 1996), que apresentou uma estatística de sistemas frontais que atuaram no litoral do Brasil entre os anos de 1975 a 1984 e 1987 a 1995, a média ficou entre 4 e 7 sistemas mensais atuando sobre a costa do sudeste brasileiro, com valores máximos nos meses de inverno e valores mínimos nos meses de verão.

O deslocamento desses sistemas está associado ao escoamento ondulatório de grande escala. A intensificação ou dissipação dos mesmos está relacionada com as características atmosféricas sobre o continente. Algumas regiões do Brasil, tais como as Regiões Sul e Sudeste, são regiões frontogenéticas, ou seja, são regiões onde as frentes podem se intensificar ou se formar (Satyamurty & Mattos, 1989). Em meso e micro escalas, o escoamento de baixos níveis sobre a plataforma continental está fortemente influenciado pelo efeito de circulações termicamente induzidas (brisas marinha e terrestre).



## II MODELO HIDRODINÂMICO

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

### II.1 DESCRIÇÃO DO PRINCETON OCEAN MODEL

O modelo numérico hidrodinâmico utilizado foi baseado no POM, desenvolvido por Blumberg & Mellor (1987), e implementado pelo grupo de modelagem da **ASA SOUTH AMERICA**. O código fonte desse modelo é de domínio público, obtido via Internet no endereço: [www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom](http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom).

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

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

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

onde

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



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

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

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

### **II.1.1 Equações Básicas do POM**

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

O conjunto de equações básicas utilizadas no código é descrito abaixo. Consideremos um sistema de coordenadas cartesianas ortogonais, com  $x$  crescendo para Leste,  $y$  para Norte e  $z$  para cima, no qual as coordenadas

horizontais (*i.e.*  $x, y$ ) referem-se ao espaço computacional. A superfície livre está localizada em  $z = \eta(x, y, t)$  e o fundo em  $z = -H(x, y)$ . Neste sistema as equações de conservação e a equação de estado são escritas como:

Equação da continuidade:

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

Equação de Reynolds para conservação da quantidade de movimento:

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

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

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

Conservação de Temperatura Potencial:

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

Conservação de Salinidade:

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

Equação de Estado:

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

Equação da Energia Cinética Turbulenta:

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

Equação da Turbulência em Macro Escala:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(q^2l) + U \frac{\partial}{\partial x}(q^2l) + V \frac{\partial}{\partial y}(q^2l) + W \frac{\partial}{\partial z}(2q^2l) = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K_q \frac{\partial}{\partial z}(q^2l) \right] \\ + lE_1 K_M \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{lE_1 g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{q^3}{B_1} \tilde{W} + F_{q^2l} \end{aligned} \quad (\text{II.1.1-9})$$

sendo,

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

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

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

onde

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

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

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

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

$P$  = pressão ( $N/m^2$ );

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

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

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

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

$S$  = salinidade (PSU);

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

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

$q^2/2$  = energia cinética turbulenta;

- $L$  = escala característica de comprimento para o movimento turbulento;
- $\tilde{W}$  = função proximidade-do-contorno;
- $K$  = constante de von Karman ( $k=0,4$ );
- $F_{q^2, q^2l}$  = termos horizontais de mistura para  $q^2$  e  $q^2l$ .

### II.1.2 Condições de Contorno Adotadas

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

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

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

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

## II.2 DESCRIÇÃO DO MODELO PARALLEL OCEAN CIRCULATION MODEL

O modelo hidrodinâmico utilizado para fornecer o campo de correntes ao largo do talude foi o POCM, desenvolvido pelo Office of Naval Research dos Estados Unidos. Este modelo utiliza como forçantes fluxos de calor e ventos gerados pelo ECMWF<sup>2</sup>.

O modelo POCM é considerado pela comunidade oceanográfica do WOCE<sup>3</sup> o mais sofisticado para descrever a circulação oceânica, sendo capaz de reproduzir os fluxos da CB que afetam diretamente a Bacia do Espírito Santo. A tabela II.2-1 apresenta um resumo dos dados de entrada utilizados pelo modelo POCM.

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

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

DADOS DE ENTRADA	DESCRIÇÃO
Fluxos de Calor	Dados de reanálise do ECMWF.
Ventos	Dados de reanálise do ECMWF.
Temperatura e Salinidade da água	Interpolados da Climatologia LEVITUS <sup>4</sup> , e depois simulado por um período de 33 anos para ajuste dos campos termohalinos

## II.3 DOMÍNIO MODELADO E DADOS DE ENTRADA DO MODELO

### II.3.1 Discretização do Domínio e Batimetria

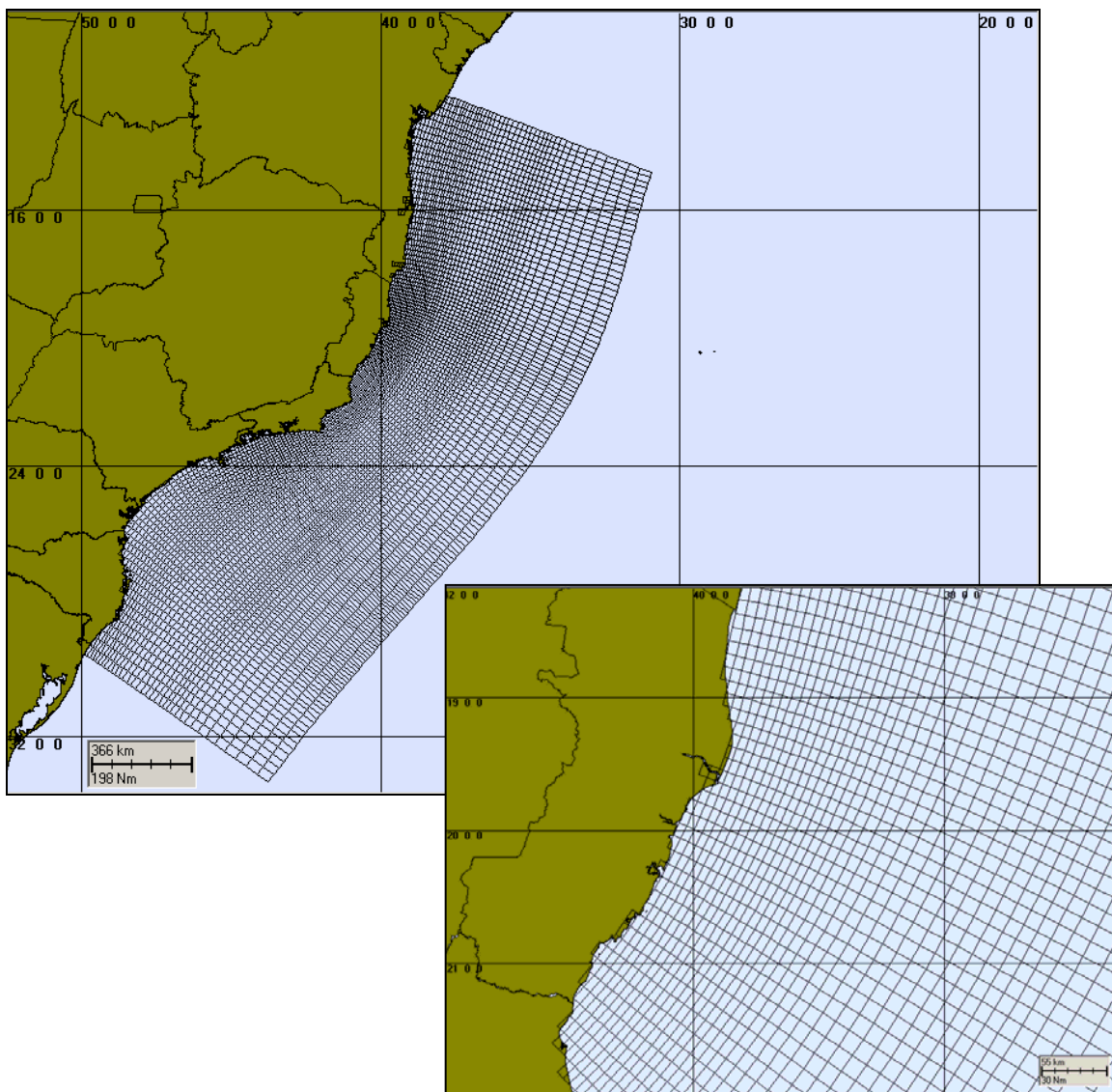
A grade final gerada para a região da Bacia do Espírito Santo possui dimensão horizontal máxima de 70x100 pontos, com resolução média de aproximadamente 3.000 m (figura II.3.1-1). A grade geral implementada representou um compromisso entre os objetivos do projeto, a capacidade

<sup>2</sup> European Centre for Medium-Range Weather Forecasts.

<sup>3</sup> World Ocean Circulation Experiment.

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

computacional para o período de execução do modelo e a descrição dos processos hidrodinâmicos relevantes para a região de interesse (forçantes de maré e ventos sobre a plataforma continental, e Corrente do Brasil no talude continental).

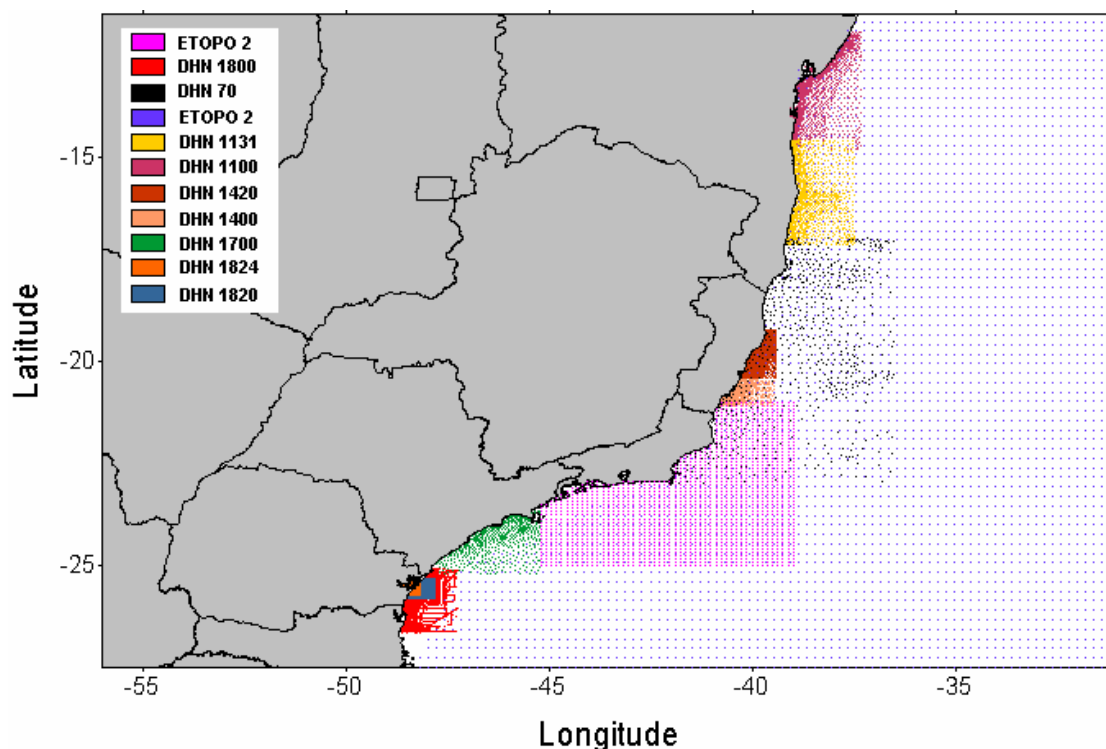


**Figura II.3.1-1** - Grade computacional utilizada nas simulações da circulação hidrodinâmica da Bacia do Espírito Santo.

Os dados de profundidade projetados no modelo hidrodinâmico e, subsequentemente inseridos no modelo de óleo, são provenientes de bases de dados da [ASA](#), obtidas nesta região através da digitalização de cartas náuticas da



DHN<sup>5</sup>. Para a região da plataforma continental, os pontos digitalizados foram extraídos das cartas náuticas da DHN números 70, 1.100, 1.131, 1.400, 1.420, 1.700, 1.800, 1.820 e 1.824. Para a representação topográfica da região do talude e planície abissal foi também utilizada a base de dados do ETOPO 2, do NGDC/NOAA<sup>6</sup>, reamostrada para um espaçamento de 10'. Esses pontos encontram-se ilustrados na figura II.3.1-2.



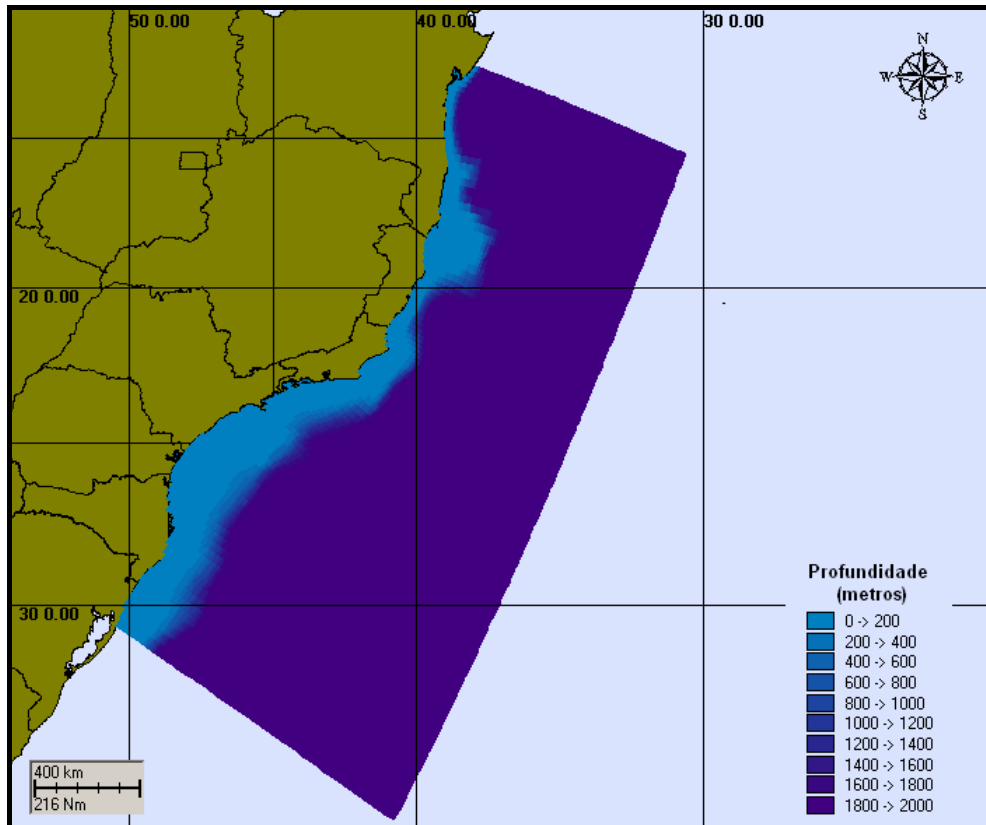
**Figura II.3.1-2 - Base batimétrica para modelagem hidrodinâmica.**

Em relação a discretização da batimetria no domínio modelado, agregam-se às características dinâmicas e morfológicas locais, questões relacionadas à ausência e/ou baixa qualidade de dados batimétricos/altimétricos da região. Em regiões não hidrografadas ou com baixa qualidade/resolução nos dados foram usados recursos como o georreferenciamento de fotos de satélite, relatos de navegantes, entre outros, para complementar os níveis requeridos à base de

<sup>5</sup> Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha.

<sup>6</sup> National Geophysical Data Center da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

dados da **ASA SOUTH AMERICA** na região, visando o ajuste fino da batimetria à linha de costa (figura II.3.1-3).



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

## II.3.2 Dados de Vento e Maré

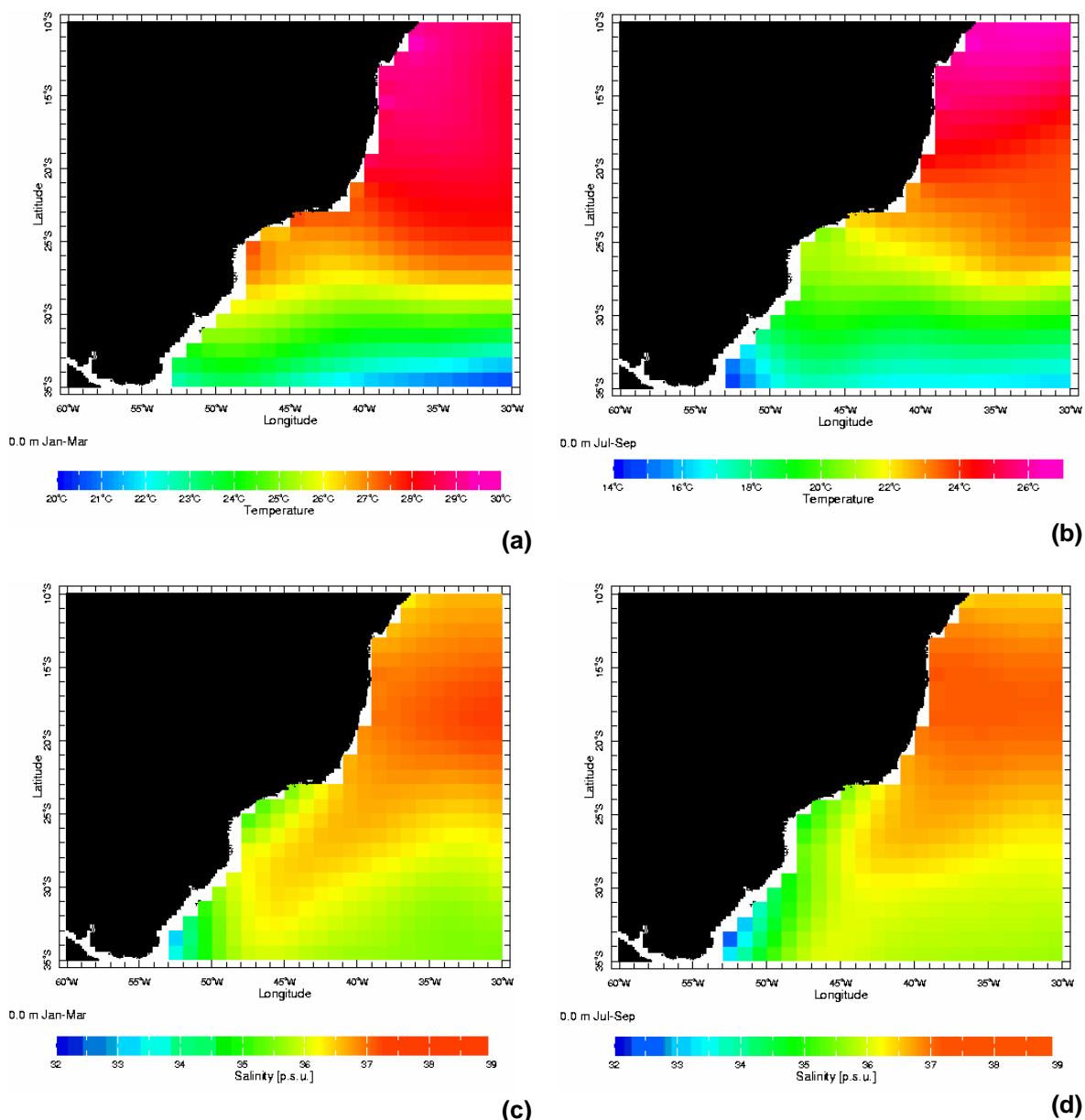
A modelagem hidrodinâmica utilizou dados de vento provenientes de reanálises do NCEP para o ano de 1992, interpolados na grade. O NCEP disponibiliza um conjunto de resultados provenientes de aproximadamente 15 anos de análises globais de campos atmosféricos para suprir as necessidades de pesquisa na área de clima, sendo um conjunto de dados dos mais confiáveis disponíveis.

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



### II.3.3 Estrutura Termohalina

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



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

### III CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDRODINÂMICO

A metodologia de calibração fundamenta-se essencialmente na avaliação do modelo quanto à sua capacidade de reprodução da circulação observada em conjuntos de dados disponíveis para a região de interesse

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

Para a calibração do nível do mar foi utilizada uma série obtida através de reconstituição harmônica, a partir de constantes fornecidas pela FEMAR<sup>7</sup> para a região do Cabo de São Tomé, nas coordenadas 22°07'42"S e 41°03'12"W.

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

Por baixa frequência entende-se os sinais com período acima de 25h, incluindo, assim, a influência de sistemas frontais, e por alta os sinais com período entre 11h e 13h, sendo influenciado principalmente pela componente de maré.

O coeficiente de ajuste para as séries foi baseado em Hess & Bosley (1992), cuja formulação é comumente utilizada na literatura científica para a comparação de duas séries com periodicidades relativamente definidas. O coeficiente é definido pela normalização do erro quadrático médio:

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

<sup>7</sup> Fundação de Estudos do Mar.

onde

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

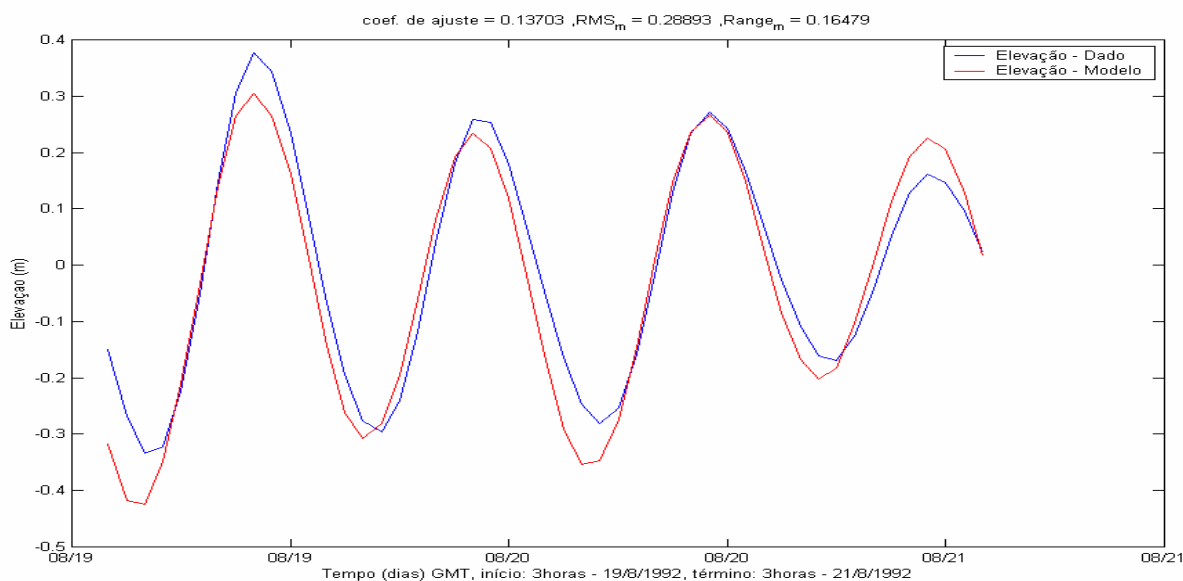
$\bar{A}$  = range médio do dado;

$P$  = previsão;

$O$  = observação.

### III.1 CALIBRAÇÃO PARA O NÍVEL DO MAR

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

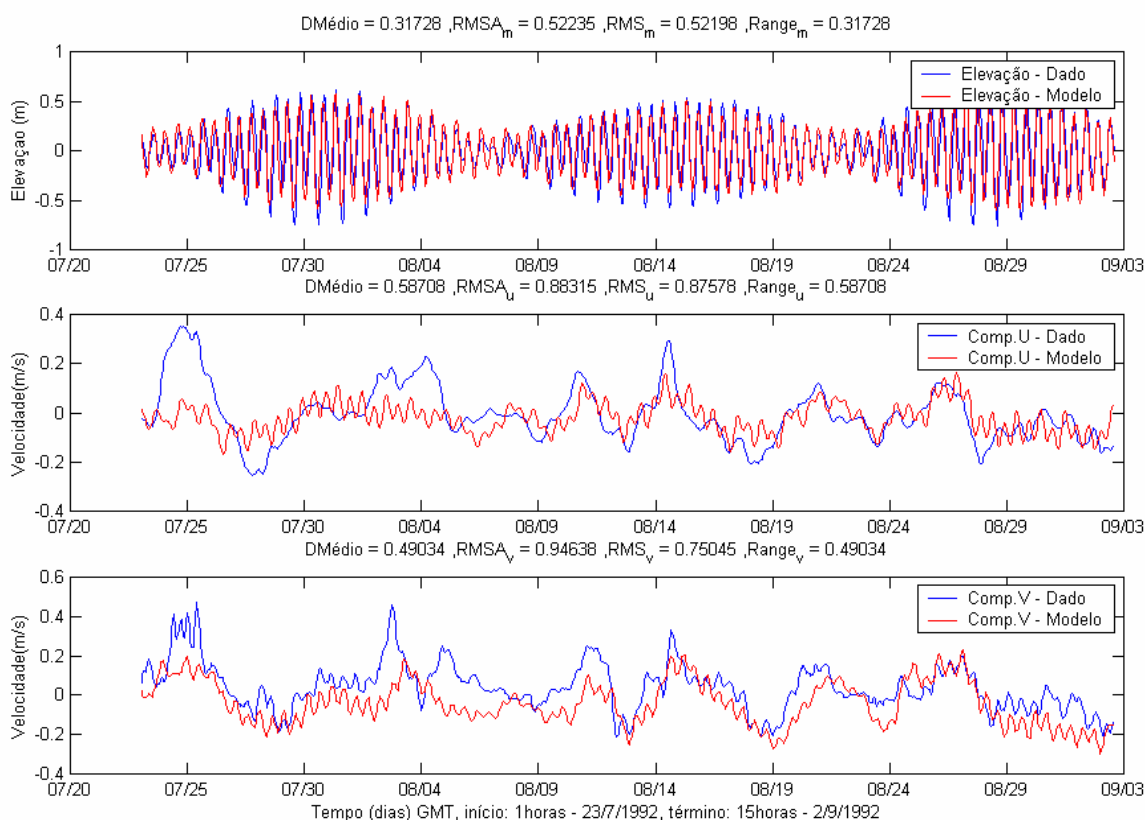


**Figura III.1-1** - Série temporal de maré (azul) e a elevação calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 19 e 21 de agosto de 1992.

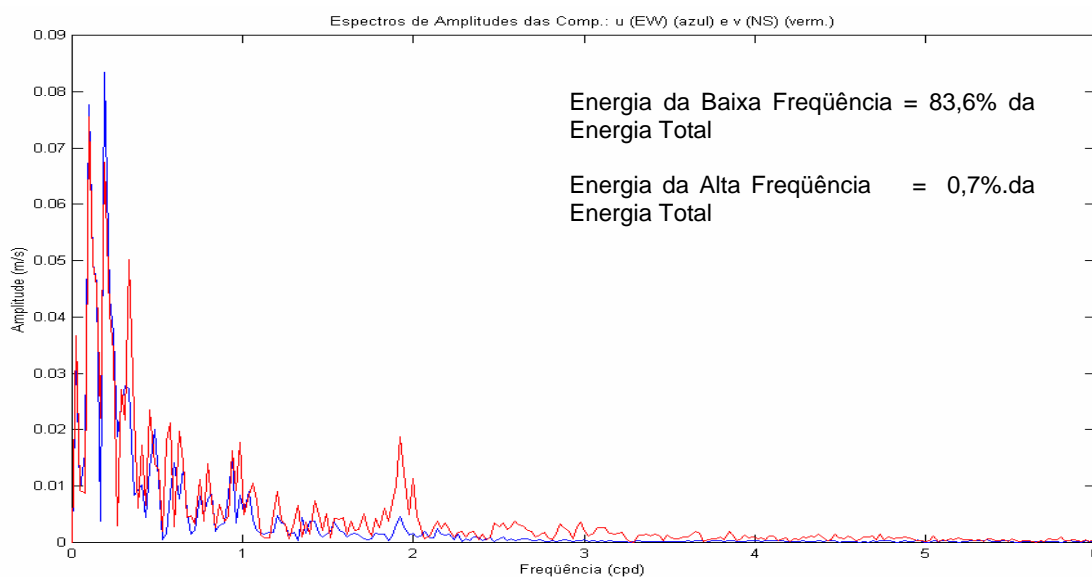
### III.2 CALIBRAÇÃO PARA AS CORRENTES

A figura III.2-1 apresenta as séries temporais dos dados de correntes *versus* os resultados do modelo. São apresentados as componentes  $u$  (E-W) e  $v$  (N-S) das velocidades, além da comparação dos resultados de elevação do modelo e a recomposição harmônica da maré.

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



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

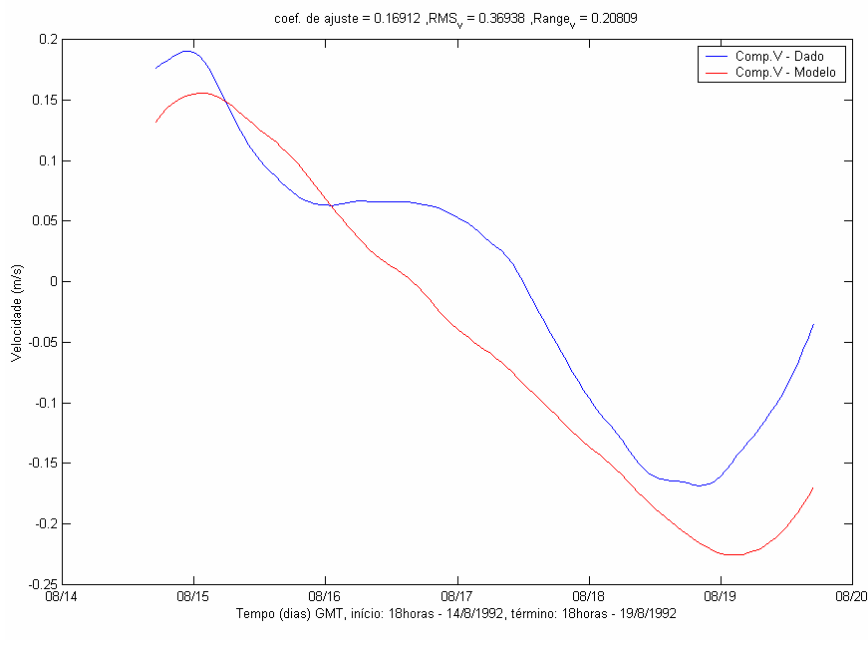
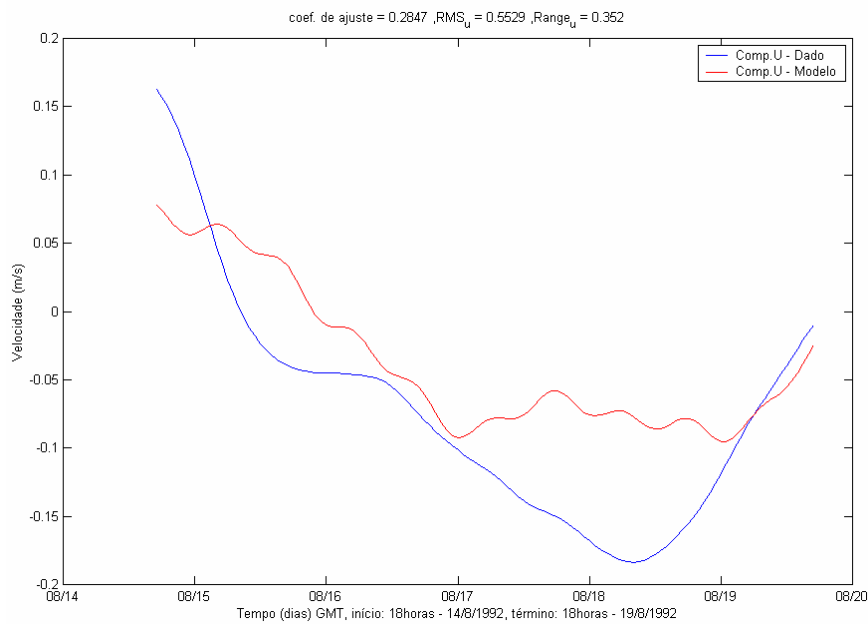


**Figura III.2-2** - Espectros de amplitude das componentes  $u$  (E-W) (azul) e  $v$  (N-S) (vermelho) dos dados de corrente da PETROBRAS.

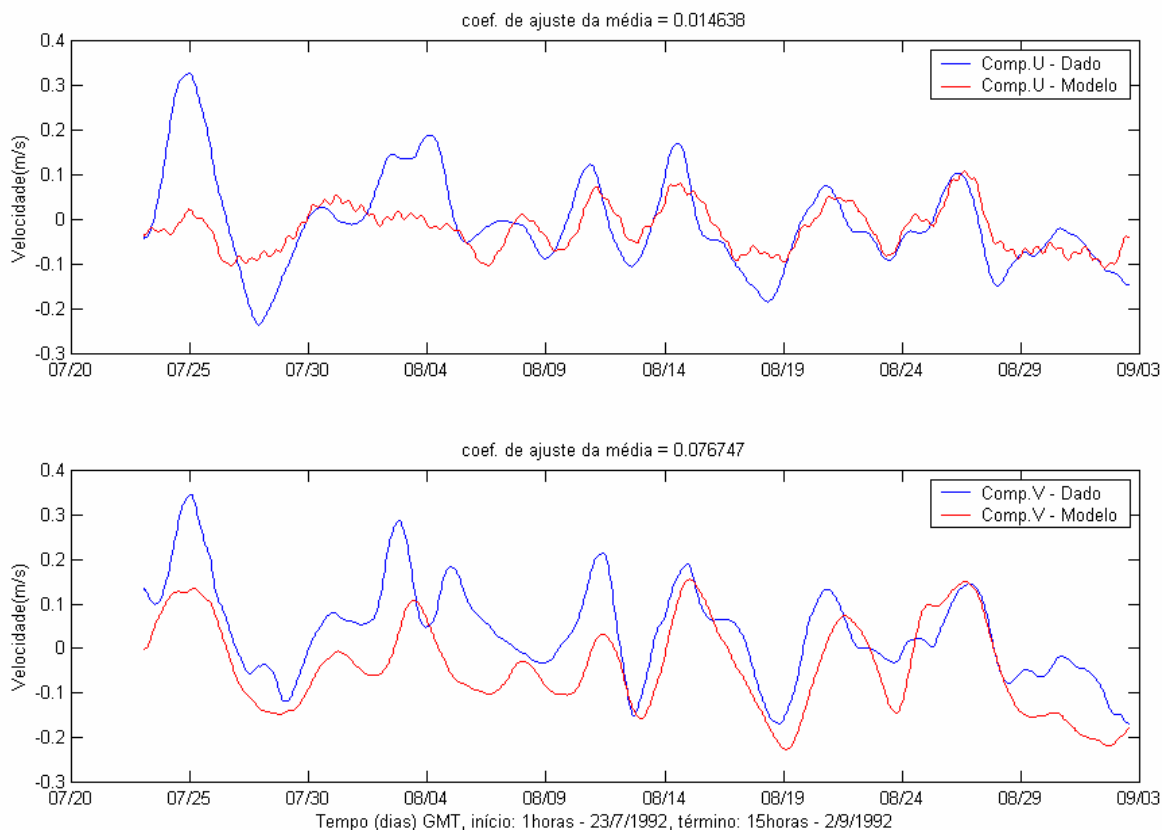
Deste modo, priorizou-se o ajuste do modelo na baixa frequência. Os coeficientes de ajuste (equação III-1) foram de 28,47% para a componente  $u$  e 16,91% para a componente  $v$ , considerando o período de 5 dias compreendido entre 14 e 19 de agosto de 1992 às 18 horas (figura III.2-3).

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

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



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



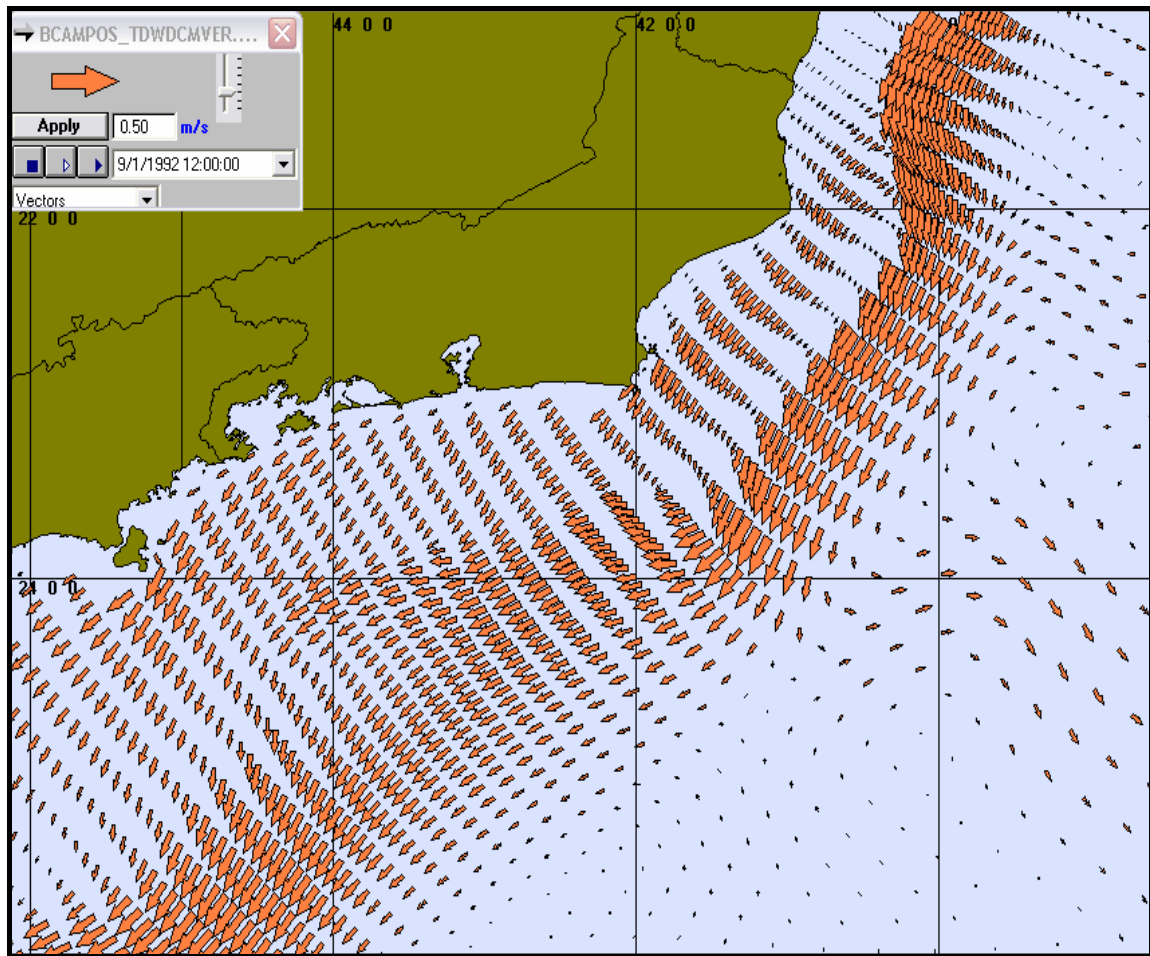
**Figura III.2-4** - Séries temporais do sinal de baixa freqüência das componentes  $u$  (E-W) e  $v$  (N-S) dos dados PETROBRAS (azul) e calculada pelo modelo (vermelho), entre os dias 22 de julho e 2 de setembro de 1992, utilizados na calibração da corrente média residual.

### III.3 RESUMO DA BASE HIDRODINÂMICA UTILIZADA

Os resultados obtidos através da simulação numérica na costa sul-sudeste brasileira encontram-se resumidamente representados na figura III.3-1, que apresenta um instantâneo da corrente de superfície no período considerado para as simulações com o modelo de óleo.

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

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



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





## IV MODELAGEM DE DERRAME DE CONDENSADO

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

O CHEMMAP é um sistema de modelos que pode ser utilizado em Análises de Risco, Planos de Contingência, Planos de Emergência com acompanhamento em tempo real, Relatório de Controle Ambiental (RCA), e Estudos de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) decorrentes de derrames acidentais de produtos químicos, ou do descarte de efluentes, e do descarte de água de produção associado às operações de óleo e gás (French, 2001; French *et al.*, 2002) em qualquer região do mundo.

### IV.1 MODELO CHEMMAP

O CHEMMAP 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 situação em estudo. Através de sua interface gráfica, o CHEMMAP 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 produtos químicos registrados no banco de dados; apresentar dados contidos em objetos georreferenciados (GIS); e determinar o impacto ambiental em recursos naturais. As funções do GIS permitem ao usuário a entrada, manipulação e exibição de objetos na tela através de pontos, linhas e polígonos georreferenciados ao domínio definido pelo cenário. A cada objeto podem ser atribuídos dados em formato de texto, valores numéricos ou arquivos a partir de *links* externos.

O sistema CHEMMAP inclui os seguintes modelos: um modelo tridimensional de deriva e intemperismo (*trajectory and fates*), um modelo de impactos biológicos e um modelo probabilístico.

Para a elaboração de cenários de deriva 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 pode ser compatível com o modelo OILMAP (grade *land-water*) ou ser compatível com o modelo SIMAP (grade *habitat/depth*) ambos desenvolvidos, também, pela **ASA**. A 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 químicos pode se movimentar em uma determinada direção, dependendo do tipo de costa (costões rochosos, praias, etc.). A grade *habitat/depth* alia a mesma funcionalidade da grade *land-water*, com informações de batimetria na área definida como água e os *habitats* correspondentes aos determinados tipos de costa (bancos de corais, manguezais, etc.).

O modelo de trajetória estima a distribuição do produto (massa e concentração) na superfície da água, em linhas de costa, na coluna d'água e nos sedimentos. O modelo tem estrutura tridimensional que simula, separadamente, a mancha superficial, as parcelas na coluna d'água, as parcelas do composto químico puro, as parcelas adsorvidas ao material particulado em suspensão e as parcelas dissolvidas (ASA, 2002).

Os processos biogeoquímicos simulados são: espalhamento, advecção, dispersão, evaporação-volatilização, entranhamento, dissolução, partição, sedimentação, adsorção e degradação.

O modelo utiliza propriedades físico-químicas para simular a trajetória e o destino da pluma de efluentes descartados em superfície ou na coluna d'água. As propriedades incluem densidade, pressão de vapor, solubilidade na água, taxa de degradação, coeficientes de partição adsorvido e dissolvido ( $K_{ow}$ ,  $K_{oc}$ ), viscosidade e tensão superficial. Essas propriedades e outras, requeridas pelo modelo para simular o transporte e destino do material descartado, estão contidas

no banco de dados químicos do CHEMMAP. O banco de dados engloba uma variedade de informações na forma de texto e descritores numéricos com o qual o usuário pode identificar e caracterizar o produto químico ou a mistura. O modelo é capaz de simular derrames de substâncias puras, produtos em soluções aquosas ou hidrofóbicas, ou substâncias em emulsões (*i.e.* mistura de material particulado em suspensão em base aquosa). Além do mais, o banco de dados inclui características que definem as misturas e as soluções.

A massa do produto químico simulado é transportada pelo campo tridimensional de correntes determinado pelo modelo hidrodinâmico, considerando marés, vento, correntes oceânicas e o movimento vertical determinado pelo empuxo (*buoyancy*) e dispersão.

O modelo também é capaz de simular a adsorção de produtos a partículas de sedimentos em suspensão, resultando na sedimentação de materiais, calculada a partir da Lei de Stokes. Partículas sedimentadas podem sofrer ressuspensão, uma vez que a velocidade no fundo ultrapasse o limite de erosão.

A pluma de efluentes é simulada segundo uma abordagem Lagrangiana, com uma série de partículas (*spillets*) representando a massa total do composto químico de interesse. A cada passo de tempo, as partículas deslocam-se de acordo com o movimento do campo hidrodinâmico, sofrem reações biogeoquímicas e são transferidas para o próximo intervalo de tempo.

Para determinar a trajetória e o destino da mancha na superfície, no caso de manchas superficiais, o modelo estima o espalhamento superficial, o transporte da mancha (advectivo e difusivo), o entranhamento na coluna d'água e a evaporação.

O espalhamento é simulado utilizando-se o algoritmo de Fay (1971) e o entranhamento é modelado segundo Delvigne & Sweeney (1988). As manchas superficiais interagem com a linha de costa, depositando material de acordo com o tipo de costa e a viscosidade do material. Os algoritmos utilizados são aqueles desenvolvidos para derrames de óleo, como descrito em French *et al.* (1999).

Utilizando-se o CHEMMAP no modo probabilístico é possível considerar a variabilidade das forçantes ambientais. As simulações de comportamento da pluma são realizadas através de variadas condições meteorológicas e

oceanográficas dentro do período de disposição de dados ambientais. Tanto os ventos quanto as correntes, ou ambos, podem variar estocasticamente.

No modo probabilístico, várias simulações são realizadas para cada cenário de descarte. Usando séries de dados de ventos e correntes para uma locação, o modelo seleciona aleatoriamente a data do descarte e as condições ambientais associadas. Como critério de parada das simulações, o modelo permite selecionar um limite (e.g. CENO, limite legal) acima do qual as probabilidades e concentrações esperadas sejam registradas. Cinco tipos de resultados são produzidos para cada parcela do químico ou mistura que se encontra na superfície da água, em linhas de costa, na coluna d'água e ou nos sedimentos, os quais podem ser apresentados em mapas de contorno:

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

### IV.1.1 *Formulação do Modelo*

A massa do produto químico simulado é transportada pelo campo tridimensional de correntes determinado pelo modelo hidrodinâmico, considerando marés, vento, correntes oceânicas e o movimento vertical determinado pelo empuxo (*buoyancy*) e dispersão. No CHEMMAP, a pluma do produto químico é considerada como um conjunto de partículas lagrangianas contendo, cada uma delas, massa conhecida. O vetor posição ( $X_t$ ) de uma dada partícula, num determinado instante de tempo  $t$ , é definido como:

$$X_t = X_{t-1} + \Delta t(U_t + D_t + R_t) \quad (\text{IV.1.1-1})$$

onde

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

$X_{t-1}$  = vetor posição no passo de tempo anterior;

$U_t$  = soma das componentes da velocidade advectiva nas três dimensões no instante  $t$  (m/s);

$D_t$  = soma das componentes da velocidade difusiva nas três dimensões no instante  $t$  (m/s);

$R_t$  = velocidade vertical das partículas na coluna d'água (m/s).

As velocidades difusivas são movimentos de subescala que não são explicitamente simulados pelo transporte da corrente ou pelo empuxo. A magnitude das componentes de  $D_t$  são proporcionais aos coeficientes de dispersão vertical e horizontal (Okubo, 1971) através da formulação *random walk* (Bear & Verruijt, 1987). Valores típicos de coeficientes de dispersão horizontal encontram-se dentro da faixa de 0,1 m<sup>2</sup>/s, em águas estuarinas, à valores maiores ou iguais a 10 m<sup>2</sup>/s em regiões oceânicas. O coeficiente de dispersão vertical, baseado em Thorpe (1984), é considerado em função da velocidade do vento na camada de mistura de onda, aproximadamente, 1,5 vezes a altura da onda. Esta, por sua vez, é calculada através do algoritmo de CERC (1984). Em águas profundas, valores típicos para o coeficiente de dispersão vertical são da ordem de 0,0001 m<sup>2</sup>/s, ou ainda menores.

O termo responsável pelo empuxo ( $R_t$ ), tanto para cima quanto para baixo, é causado pela diferença relativa na densidade (e na força gravitacional) entre as partículas (sólidas, líquidas ou bolhas de gás) e a água adjacente. Este termo é calculado através da Lei de Stokes, na qual a velocidade de subida ou de afundamento aumenta em função da diferença de densidade entre a partícula e a água, e em proporção ao quadrado do diâmetro da partícula. Desta forma, para uma pluma flutuante, quanto menos denso o químico e quanto maior a partícula, mais rápido a pluma se aproxima da superfície. Em contrapartida, quanto mais denso este for e quanto maior a partícula, mais rápido a pluma afundará.

O modelo simula ainda a adsorção de produtos a partículas de sedimentos em suspensão, resultando na sedimentação de materiais. Neste caso, a Lei de Stokes é utilizada para calcular as velocidades verticais das partículas do químico

puro, ou partículas de sedimento em suspensão adsorvidas aos químicos. Se a velocidade de subida ou de afundamento supera a mistura turbulenta, as partículas irão flutuar ou se depositar no fundo. Partículas depositadas podem ser ressuspendidas, caso a velocidade da corrente supere 0,2 m/s.

Se as correntes de superfície, fornecidas pelo modelo hidrodinâmico (ou dados observacionais), não são forçadas pelo vento, então a velocidade de deriva devida ao vento,  $u_{wc}$  e  $v_{wc}$  (m/s), componentes Leste-Oeste e Norte-Sul, respectivamente, são:

$$u_{wc} = C_w u_w \quad (\text{IV.1.1-2})$$

$$v_{wc} = C_w v_w \quad (\text{IV.1.1-3})$$

onde

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

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

$C_w$  = fator de deriva (%).

O fator de deriva,  $C_w$ , é constante (Lange & Hühnerfuss, 1978), podendo variar entre 2,5 e 4,5%, baseado em observações. O valor *default* no modelo é 3,5%.

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:

$$u_{wd} = u_{wc} \cos \theta + v_{wc} \text{sen} \theta \quad (\text{IV.1.1-4})$$

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

onde

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

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

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

De maneira alternativa, um algoritmo desenvolvido por Youssef (1993) e Youssef & Spaulding (1993) é utilizado no transporte induzido pelo vento na camada de mistura de onda de regiões oceânicas. Seus resultados mostram que o fator de deriva devido ao vento na superfície da água,  $C_{wo}$ , está relacionado à velocidade do vento ( $w$ ):

$$C_{wo} = 3,9088 - 0,031885w \quad (\text{IV.1.1-6})$$

A deriva do vento varia entre 3% e 4% a velocidade do vento, respectivamente, para ventos com velocidade de 30 m/s a ventos fracos. De forma similar, o ângulo de deriva na superfície da água,  $C_{ao}$ , está relacionado à velocidade do vento ( $w$ ):

$$C_{ao} = 23,627 - 7,97 \log(w) \quad (\text{IV.1.1-7})$$

Com o aumento da profundidade, o fator de deriva do vento diminui, enquanto o ângulo de deriva aumenta (Youssef, 1993; Youssef & Spaulding, 1993). Dessa forma, há um cisalhamento entre as águas superficiais e subsuperficiais, que faz com que as partículas se distanciem e se separem da pluma superficial. Essas funções se baseiam em formulações empíricas ajustadas aos resultados de seus modelos:

$$C_{wz} = \exp(k_{w1}w + 0,7768) \quad (\text{IV.1.1-8})$$

$$k_{w1} = 1/[24,289/w - 5,26] \quad (\text{IV.1.1-9})$$

$$C_{az} = k_{w2} \log_{10}(w) + k_{w3} \quad (\text{IV.1.1-10})$$

$$k_{w2} = -27,28w^{-1/2} - 6,5 \quad (\text{IV.1.1-11})$$

$$k_{w3} = 49,545w^{-1/2} + 23,9 \quad (\text{IV.1.1-12})$$

onde

$C_{wz}$  = fator de deriva do vento;

$C_{az}$  = ângulo de deriva do vento na profundidade  $z$ ;

$k_{w1}, k_{w2}, k_{w3}$  = constantes.



Para calcular o destino e a trajetória de uma pluma superficial de um produto flutuante, o modelo leva em consideração o transporte da pluma, o espalhamento superficial, o entranhamento na coluna d'água e a evaporação.

O espalhamento ocorre devido à dois processos, modelados separadamente por algoritmos previamente desenvolvidos para manchas de óleo: (1) o balanço entre as forças gravitacional, inércia, viscosidade e tensão superficial, que aumenta a real extensão de cada partícula (espalhamento gravitacional); e (2) espalhamento e cisalhamento da corrente, que afastam as partículas umas das outras (Elliott, 1986; Lehr, 1996). Um conjunto teórico de equações para o espalhamento gravitacional foi desenvolvido quase que simultaneamente por Fay (1971) e por Hoult (1972), com uma abordagem similar. Mackay *et al.* (1980) modificaram o modelo de Fay-Hoult através da formulação de mancha espesso-fina, através de uma formulação empírica baseada no comportamento de espalhamento terminal (Fay, 1971). Estas assumem que a mancha espessa contém entre 80 a 90% da massa total associada à mancha.

No modelo CHEMMAP, as partículas na superfície da água aumentam de diâmetro de acordo com o algoritmo empírico desenvolvido por Mackay *et al.* (1980). A taxa de mudança da área superficial, para o espalhamento da mancha espessa, em m<sup>2</sup>/s, é definida por:

$$\frac{dA}{dt} = K_1 A^{1/3} \left( \frac{V}{A} \right)^{4/3} \quad (\text{IV.1.1-13})$$

onde

- $A$  = área superficial da mancha (m<sup>2</sup>);
- $K_1$  = taxa de espalhamento constante (s<sup>-1</sup>);
- $V$  = volume da superfície da mancha (m<sup>3</sup>);
- $t$  = tempo (s).

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

A taxa de mudança da área superficial de uma única partícula,  $\bar{A}_{tk}$  ( $m^2/s$ ), é dada por:

$$\frac{dA_{th}}{dt} = K_1 A_{th}^{1/3} \left( \frac{V_s}{A_{th}} \right)^{4/3} \left( \frac{R_s}{R_e} \right)^{4/3} \quad (\text{IV.1.1-14})$$

onde

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

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

$V_s$  = 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 mancha superficial,  $R_e$  (m), (Kolluru, 1992) é dado por:

$$R_e = \left[ \left( \frac{1}{\pi} \right) \sum_{n=1}^N A_{tk} \right]^{1/2} \quad (\text{IV.1.1-15})$$

onde

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

No CHEMMAP, as partículas movem-se individualmente e podem tanto se separar, quanto convergir, dependendo das correntes superficiais. O algoritmo de transporte inclui, ainda, um termo de difusão turbulenta aleatória, cuja função é separar as partículas e induzir o espalhamento.

Adicionalmente, se o produto flutuando na superfície entrinha na coluna d'água, ele se dispersara verticalmente para baixo, em uma água que se move a uma velocidade mais lenta devido a resposta das forçantes meteorológicas. Caso estas partículas entrinhadas voltem a superfície, elas estarão numa posição posterior à pluma da superfície, o que faz com que a pluma seja mais alongada na direção do vento.

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 tamanho da partícula entranhada diminui com altos níveis de energia turbulenta e baixa viscosidade.

Plumas superficiais interagem com a linha de costa, dependendo das características e do tipo do material simulado e linha de costa. Os algoritmos utilizados para estes cálculos são os mesmos desenvolvidos para modelagens de óleo, em especial os desenvolvidos por French *et al.* (1999).

A dissolução de substâncias puras e de químicos de uma mancha de um solvente hidrofóbico ou de gotículas em suspensão (*i.e.* para formulações nas quais o produto está dissolvido em, ou está adsorvido à um solvente hidrofóbico) é tratada como o fluxo de massa através da área superficial da pluma ou gotícula (French *et al.* 1996a,b, 1999). O modelo desenvolvido por Mackay & Leinonem (1977) é utilizado para a dissolução da pluma superficial. A pluma (partículas) é considerada como uma placa circular e achatada, com o fluxo de massa relacionado à solubilidade e à temperatura (Hines & Maddox, 1985). Este assume uma camada não estratificada, com a maior resistência à transferência de massa a uma região estagnada hipotética (camada de água) próxima à pluma. Para gotículas em subsuperfície, a dissolução é considerada como um fluxo de massa através da área superficial da gotícula (tratada como uma esfera), num algoritmo análogo ao de Mackay & Leinonem (1977).

A taxa de dissolução de um químico puro ou solvente,  $\dot{N}_{i,d}$  (mols/s), é definida por:

$$\dot{N}_{i,d} = d \frac{N_{i,d}}{dt} = K_d (x_i C_i^s - C_i^w) A \quad (\text{IV.1.1-16})$$

onde

- $i$  =  $i$ -ésima componente;
- $A$  = área superficial da pluma ou partícula (cm<sup>2</sup>);
- $K_d$  = coeficiente de transferência de dissolução da massa (cm/s);
- $x_i$  = fração molar da fase solvente do componente (1,0 para químicos puros);

- $C_i^s$  = solubilidade do produto puro da componente  $i$  (mols/cm<sup>3</sup>);  
 $C_i^w$  = concentração do componente  $i$  na fase aquosa (mols/cm<sup>3</sup>).

Para químicos dissolvidos em solventes hidrofóbicos, a solubilidade do componente puro ( $C_i^s$ ) é definida por:

$$C_i^s = \frac{C_i^o}{P_i} \quad (\text{IV.1.1-17})$$

onde

- $P_i$  = coeficiente de particionamento solvente-água para a componente  $i$ ;  
 $C_i^o$  = concentração da componente na fase solvente.

O coeficiente de transferência de massa para uma pluma superficial pode ser considerado similar à transferência de massa em uma placa achatada (Hines & Maddox, 1985). O coeficiente de transferência de dissolução da massa,  $K_{d_s}$  (m/s), é:

$$K_{d_s} = \frac{ShD_{AB}}{L} \quad (\text{IV.1.1-18})$$

onde

- $Sh$  = número de Sherwood médio;  
 $L$  = diâmetro da pluma superficial (m);  
 $D_{AB}$  = coeficiente de difusão a 25 °C (m<sup>2</sup>/s).

Para o cálculo de  $D_{AB}$ , utiliza-se o método de Hayduk & Laudie (Lyman *et al.*, 1982 *apud* Hines & Maddox, 1985).

$$D_{AB} = \left[ \frac{RT}{(\mu_w^{1,14}) \left( V_B^{+0,589} \right)} \right] \quad (\text{IV.1.1-19})$$

onde

$R$  = constante universal dos gases ( $8,206 \times 10^{-5}$  atm-m<sup>3</sup>/mol-K);

$T$  = temperatura (K);

$\mu_w$  = viscosidade da água a 25 °C (cp);

$V'_B$  = volume molar de Le Bas (cm<sup>3</sup>/mols).

A viscosidade da água varia com a temperatura e com a seguinte equação, ajustada à dados empíricos:

$$\mu_w = \exp \left[ -24,71 + \left( \frac{4,209}{T} \right) + 0,04527T - 0,00003376T^2 \right] \quad (\text{IV.1.1-20})$$

O volume molar de Le Bas de químicos orgânicos e inorgânicos representativos, foram obtidos através da regressão do peso molecular, a seguir:

$$\text{Inorgânicos: } V'_B = 2,8047(MW^{0,651}) \quad (\text{IV.1.1-21})$$

$$\text{Orgânicos: } V'_B = 4,9807(MW^{0,6963}) \quad (\text{IV.1.1-22})$$

onde

$MW$  = peso molecular (g/mol).

Os volumes molares para os químicos orgânicos e inorgânicos foram obtidos em Mackay *et al.* (1992).

O número de Sherwood médio é obtido através da equação:

$$Sh = 0,578Sc^{1/3} Re_L^{1/2} \quad (\text{IV.1.1-23})$$

onde

$Sc$  = número do Schmidt;

$Re_L$  = número de Reynolds.

O número de Schmidt é definido por:

$$Sc = \frac{\gamma}{D_{AB}} \quad (\text{IV.1.1-24})$$

$$\gamma = 10^{-6} \frac{\mu_w}{\rho_w} \quad (\text{IV.1.1-25})$$

onde

$\gamma$  = viscosidade cinemática da água (m<sup>2</sup>/s);

$\rho_w$  = densidade da água (g/cm<sup>3</sup>).

O número de Reynolds é definido por:

$$Re_L = \frac{U_w L}{\gamma} \quad (\text{IV.1.1-26})$$

onde

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

O coeficiente de transferência de massa para gotículas de sub-superfície é similar à transferência de massa para gotículas esféricas (Hines & Maddox, 1985). O coeficiente de transferência de dissolução da massa,  $K_{d_{ss}}$  (m/s), é definido por:

$$K_{d_{ss}} = \frac{Sh D_{AB}}{d} \quad (\text{IV.1.1-27})$$

onde

$Sh$  = número de Sherwood médio;

$d$  = diâmetro da gotícula (m);

$D_{AB}$  = coeficiente de difusão a 25 °C (m<sup>2</sup>/s).

O número de Sherwood médio, para este caso, é definido como:

$$Sh = 2 + 0,552 Re_d^{0,5} Sc^{1/3} \quad (IV.1.1-28)$$

onde

$Sc$  = número do Schmidt;

$Re_d$  = número de Reynolds baseado no diâmetro da gotícula.

Com o número de Reynolds,  $Re_d$ , definido por:

$$Re_d = \frac{Wd}{\gamma} \quad (IV.1.1-29)$$

onde

$W$  = velocidade resultante atuando na gotícula (m/s);

Uma vez que a dissolução ocorreu, o químico na coluna d'água é tratado como parcialmente dissolvido e parcialmente adsorvido à partículas de sedimento em suspensão. Assume-se, então, um particionamento de proporções constantes entre estas frações (baseado na teoria de equilíbrio linear, utilizando-se o  $K_{oc}$  do químico em questão). Sólidos descartados na forma particulada se dissolvem e são, então, particionados entre as formas dissolvida e particulada na coluna d'água, através do equilíbrio de particionamento.

A razão entre as concentrações adsorvidas,  $C_a$ , e dissolvidas,  $C_{dis}$ , é calculada através da teoria padrão equilíbrio de particionamento, a seguir:

$$\frac{C_a}{C_{dis}} = K_{oc} C_{ss} \quad (IV.1.1-30)$$

onde

$K_{oc}$  = coeficiente de partição entre o carbono orgânico e a água (adimensional);

$C_{ss}$  = concentração de materiais particulados em suspensão na coluna d'água, expresso como a massa do particulado pelo volume da água.

A massa total da fração adsorvida,  $C_a / (C_a + C_{dis})$ , afunda através da coluna d'água, a uma taxa de sedimentação  $V_s$ . Assume-se que o químico se adsorve a partículas de silte de 50  $\mu\text{m}$  e densidade de 1,0512  $\text{g/cm}^3$ . Através da Lei de Stokes, a taxa de sedimentação é de aproximadamente 3 m/dia na água do mar (densidade de 1,024  $\text{g/cm}^3$ ) e águas calmas.

Assume-se que a sedimentação não ocorra em águas nas quais as ondas são influenciadas pelo fundo (*i.e.* ondas de águas rasas ou transicionais, ao contrário ondas de águas profundas).

A altura e o período das ondas são calculados com base em CERC (1984). O comprimento de onda é calculado através do período e da profundidade. As ondas passam de águas profundas à transicionais e, posteriormente, à ondas de águas rasas, quando a profundidade for menor que a metade do comprimento da onda (CERC, *op.cit.*).

A evaporação é calculada de acordo com a Lei de Raoult. A taxa de evaporação por unidade de área,  $E$  ( $\text{g/m}^2\text{h}$ ), de um químico flutuando na superfície (Mackay & Matsugu, 1973), é definida por:

$$E = \frac{K_e MW P_{vp}}{RT} \quad (\text{IV.1.1-31})$$

onde

$K_e$  = coeficiente de transferência de massa por evaporação ( $\text{m/h}$ );

$MW$  = peso molecular ( $\text{g/mol}$ );

$P_{vp}$  = pressão de vapor ( $\text{atm}$ );

$R$  = constante universal dos gases ( $8,206 \times 10^{-5} \text{ atm}\cdot\text{m}^3/\text{mol}\cdot\text{K}$ );

$T$  = temperatura ( $\text{K}$ ).

A temperatura é considerada a mesma definida para a superfície da água. O coeficiente de transferência de massa por evaporação,  $K_e$  ( $\text{m/h}$ ), é definido por (Mackay & Matsugu, 1973):

$$K_e = 0,0292U^{0,78} L^{-0,11} Sc_a^{-0,67} \quad (\text{IV.1.1-32})$$



onde

$U$  = velocidade do vento a 10 m de altura (m/h);

$L$  = diâmetro da pluma ou partícula flutuante (m);

$Sc_a$  = número do Schmidt para o químico no ar.

O número de Schmidt para o químico no ar é obtido através da divisão da viscosidade cinemática do ar ( $0,15 \text{ cm}^2/\text{s}$ ) pela difusividade do químico no ar,  $D_{ar}$ , baseado em Thibodeaux (1979):

$$D_{ar} = D_{ref} SQRT\left(\frac{MW_{ref}}{MW}\right) \quad (\text{IV.1.1-33})$$

onde

$D_{ref}$  = difusividade no ar de um químico de referência ( $\text{cm}^2/\text{s}$ );

$MW_{ref}$  = peso molecular de um químico de referência (g/mol).

Os químicos de referência são: o cumene para  $MW > 100 \text{ g/mol}$  ( $D_{ar} = 0,0556$  e  $MW_{ref} = 120$ ; Mackay & Matsugu, 1973) e o pentano para  $MW \leq 100 \text{ g/mol}$  ( $D_{ar} = 0,071$  e  $MW_{ref} = 72,15$ ; Kawamura & Mackay, 1987).

A volatilização de químicos dissolvidos para a atmosfera é função da pressão de vapor e da solubilidade. O CHEMMAP utiliza o procedimento esquematizado por Lyman *et al.* (1982 *apud* Hines & Maddox, 1985), baseado em na Lei de Henry e no fluxo de massa. A profundidade de volatilização para as substâncias dissolvidas é limitada a camada de mistura superior, estimada a partir da profundidade de difusão ou como metade da altura da onda, estimada a partir da velocidade do vento (CERC, 1984).

A Lei de Henry utiliza a constante da Lei de Henry. Caso esta não tenha sido especificada, ela é calculada através do vapor de pressão do químico (que por sua vez está fortemente relacionado com a temperatura), solubilidade e peso molecular (Lyman *et al.* 1982 *apud* Hines & Maddox, 1985), dado por:

1) Cálculo da constante da Lei de Henry ( $H$ ):

$$H = \frac{P_{vp}}{(S / MW)} \quad (\text{IV.1.1-34})$$

onde

$P_{vp}$  = pressão de vapor (atm);

$S$  = solubilidade (mg/L);

$MW$  = peso molecular (g/mol).

2) Para  $H < 3 \times 10^{-7}$ , a volatilização pode ser desprezada.

3) Para  $H > 3 \times 10^{-7}$ , calcula-se a constante adimensional da Lei de Henry ( $H'$ ):

$$H' = \frac{H}{RT} \quad (\text{IV.1.1-35})$$

onde

$R$  = constante universal dos gases ( $8,206 \times 10^{-5}$  atm-m<sup>3</sup>/mol-K);

$T$  = temperatura (K).

4) Cálculo do coeficiente de mudança da fase líquida ( $K_5$ , cm/h):

$$K_5 = 20 \sqrt{\frac{44}{MW}} \quad (\text{IV.1.1-36})$$

5) Cálculo do coeficiente de mudança da fase gasosa ( $K_6$ , cm/h):

$$K_6 = 3.000 \sqrt{\frac{18}{MW}} \quad (\text{IV.1.1-37})$$

6) Cálculo do coeficiente de transferência de massa total ( $K_7$ , cm/h):

$$K_7 = \frac{(H' K_5 K_6)}{(H' K_6 + K_5)} \quad (\text{IV.1.1-38})$$

A taxa de transferência de massa da coluna d'água para a atmosfera passa a ser, então:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{K_7 m}{d} \quad (\text{IV.1.1-39})$$

na qual  $m$  é a massa do poluente, considerada igualmente distribuída na profundidade  $d$ . A profundidade de volatilização para substâncias dissolvidas é limitada, no máximo, a metade da altura da onda, ou a profundidade de difusão  $d$ :

$$d = \sqrt{2D_z \Delta t} \quad (\text{IV.1.1-40})$$

onde

$D_z$  = difusividade vertical ( $\text{m}^2/\text{s}$ );

$\Delta t$  = passo de tempo do modelo (s).

Um modelo de dispersão atmosférica é incorporado ao CHEMMAP com a função de estimar as concentrações das substâncias simuladas no ar, até uma camada de 2 m de altura (*i.e.* até aproximadamente a altura que uma pessoa possa ser exposta à estas). O fluxo de massa para a atmosfera é rastreado através de uma abordagem lagrangiana, análoga ao transporte na água. A substância é transportada no ar pelo vento, e sofre degradação de acordo com as taxas especificadas.

A massa se dispersa horizontalmente devido à turbulência, através de uma taxa constante especificada (coeficiente de dispersão horizontal), ou através do algoritmo de Gifford (1961), descrito em Csanady (1973). O coeficiente de dispersão horizontal calculado pelo modelo é função da velocidade do vento e da estabilidade do ar, definida como moderadamente estável, ligeiramente estável, neutra, ligeiramente instável e moderadamente instável, baseadas em Turner (1970).

A massa também é dispersada para cima pela turbulência, que é dependente da velocidade do vento. A aproximação básica utiliza a teoria da camada planetária e a teoria de comprimento de mistura (descrito em vários livros de

dinâmica dos fluidos, e.g. Holton, 1979). Nesta teoria, a variação vertical da velocidade e atrito é definida por uma lei logarítmica. Esta fornece a seguinte relação:

$$Dz = L^2 \frac{du}{dz} \quad (\text{IV.1.1-41})$$

onde

$Dz$  = taxa de mistura vertical;

$L$  = comprimento de mistura;

$\frac{du}{dz}$  = cisalhamento da velocidade vertical.

Esta pode ser aproximada como:

$$Dz = zU^* \quad (\text{IV.1.1-42})$$

$$U^* = \sqrt{\frac{bs}{\rho_{ar}}} \quad (\text{IV.1.1-43})$$

onde

$bs$  = tensão do fundo;

$\rho_{ar}$  = densidade do ar ( $\text{g/cm}^3$ ).

Em resumo:

$$Dz = zW_v(Cd)^{1/2} \quad (\text{IV.1.1-44})$$

onde

$W_v$  = velocidade do vento a 10 m (m/h);

$Cd$  = atrito do fundo ( $\sim 0,0013$ ).

Esta fornece o coeficiente de difusão turbulenta, calculado a partir da velocidade do vento, e que permite a resolução do termo de difusão:

$$Dz * d(dC / dz) / dz \quad (IV.1.1-45)$$

onde

$C$  = concentração do químico no ar, especificado na interface devido ao fluxo com a água.

Considera-se que a bioturbação nos primeiros 10 cm do sedimento misture completamente a massa do químico sedimentado, na escala de tempo de interesse (dias a semanas), de forma que a concentração seja calculada, simplesmente, como a massa pela área dividida por 10 cm. As concentrações do contaminante no sedimento são distribuídas entre as formas adsorvidas e dissolvidas através do equilíbrio de particionamento, como na coluna d'água. A razão de particulados para água intersticial é considerada como 0,45 (CERC, 1984).

A degradação é estimada através da taxa de decaimento constante especificada para ambiente em que a massa se encontre (*i.e.* na atmosfera, superfície ou coluna d'água ou sedimento). O algoritmo de decaimento é dado por:

$$M_t = M_0 e^{-kt} \quad (IV.1.1-46)$$

onde

$t$  = tempo (dias);

$M_t$  = massa remanescente no instante  $t$ ;

$M_0$  = massa descartada no instante 0;

$k$  = taxa de decaimento instantâneo ( $\text{dia}^{-1}$ ).

A meia-vida,  $t(1/2)$ , do químico no ambiente é calculado através da equação:  $M_t / M_0 = 0,5 = e^{-kt(1/2)}$ , que pode ser reagrupada como:

$$t(1/2) = -\ln(0,5) / K = 0,693 / K \quad (IV.1.1-47)$$

ou

$$k = 0,693 / t(1/2) \quad (IV.1.1-48)$$

## IV.2 DADOS DE ENTRADA

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

- ✓ localização geográfica do ponto de derrame;
- ✓ data e horário;
- ✓ duração do derrame;
- ✓ volume derramado;
- ✓ profundidade de descarte;
- ✓ tipo de produto;
- ✓ duração da simulação;
- ✓ opções de resposta (e.g., barreiras);
- ✓ campo de correntes;
- ✓ arquivo de dados meteorológicos;
- ✓ concentração de sedimentos em suspensão;
- ✓ temperatura, salinidade e densidade do corpo de água receptor;
- ✓ opções de saída;
- ✓ parâmetros de simulação:
  - fator de vento;
  - número de partículas;
  - coeficiente de dispersão horizontal;
  - coeficiente de dispersão vertical;
  - passo de tempo do modelo.

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

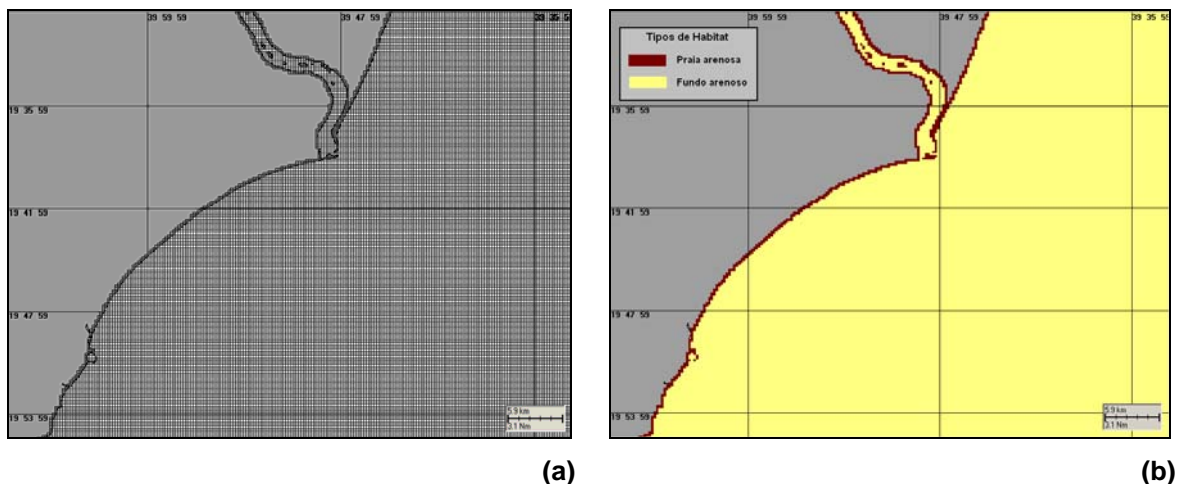


## V MODELAGEM DE DERIVA DE CONDENSADO PARA UM VAZAMENTO NO GASODUTO DO CAMPO DE CAMRUPIM

As simulações de deriva de condensado a partir de um vazamento no Gasoduto do Campo de Camarupim utilizaram a base hidrodinâmica descrita no Capítulo II e a grade *habitat* descrita a seguir. A PETROBRAS definiu o condensado do Poço ESS-164 para caracterizar o produto a ser modelado. Uma vez que o condensado é composto por duas parcelas principais que apresentam comportamentos distintos (uma parcela gasosa e outra líquida, a temperatura e pressão ambientes), as simulações foram realizadas separadamente, para cada uma das parcelas.

### V.1 DADOS DE ENTRADA

Para a elaboração dos cenários de deriva para vazamentos de condensado na do Campo de Camarupim, Bacia do Espírito Santo, foi definida uma grade *habitat* com dimensões de 200x200 pontos (figura V.1-1), baseadas em imagens de satélite Landsat NASA.



**Figura V.1-1** - Grade definindo os contornos de terra (*grade habitat*) para a modelagem de deriva de condensado no Campo de Camarupim: (a) células e (b) tipos de habitats.

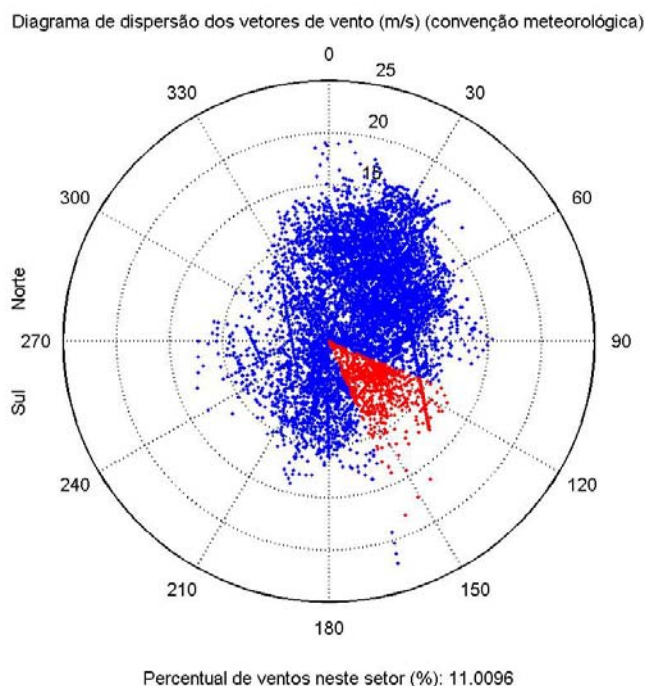


## V.1.1 Campo de Correntes

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

## V.1.2 Dados de Vento

Para a modelagem de deriva de condensado, foram utilizados dados de vento medidos por uma bóia oceanográfica localizada no campo de Albacora (Bacia de Campos). Esses dados foram fornecidos pelo Centro de Pesquisas da PETROBRAS (CENPES), para o ano de 1992, com intervalo de amostragem de 3 horas. A figura V.1.2-1 apresenta o diagrama de dispersão para a série temporal fornecida, onde foi adotada a convenção meteorológica, isto é, a direção do vento corresponde à direção de onde este vem.



**Figura V.1.2-1** - Diagrama de dispersão do vento para o ano de 1992, na Bacia de Campos.

A tabela V.1.2-1 apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento para os dados fornecidos. Observa-se que os ventos mais freqüentes são de NE (17,4%) e NNE (16,9%). Os ventos com velocidades médias máximas (9,8 m/s) vieram de NNE; e os ventos mais fortes registrados foram provenientes de SSE (22,3 m/s) e N (19,3 m/s). Do total de registros dos ventos, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 14,0 m/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

**Tabela V.1.2-1 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento para o ano de 1992, na Bacia de Campos.**

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

### V.1.3 Ponto de Risco e Volume

As coordenadas do ponto de vazamento de condensado no Gasoduto do Campo de Camarupim foram especificadas pela PETROBRAS, conforme a tabela V.1.3-1, e correspondem às coordenadas do ponto onde o duto começa a ser enterrado. Portanto, as simulações foram realizadas considerando-se vazamentos de sub-superfície, a 23 m de profundidade.

**Tabela V.1.3-1 - Coordenadas (WGS 84) do ponto de risco de vazamento no Gasoduto do Campo de Camarupim, Bacia do Espírito Santo.**

CAMPO	LATITUDE	LONGITUDE	LÂMINA D'ÁGUA (m)
Camarupim	19°32'44,57"S	39°40'09,03"W	~ 23

Fonte: PETROBRAS.

Através do uso de simuladores de fluxo, foi possível gerar a curva de *Hold Up* de condensado ao longo do sistema de exportação de gás do Campo de Camarupim. Para a vazão de projeto de 10,0 MMm<sup>3</sup>/dia de gás, obteve-se um volume acumulado ao longo do duto de, aproximadamente, 2.577 m<sup>3</sup>/dia de condensado.

Portanto, o volume adotado nas simulações foi definido como o volume máximo de condensado que pode haver no interior do duto no momento de fechamento das válvulas, totalizando 2.577 m<sup>3</sup>, com vazamento de todo o volume de condensado ao longo de 1 minuto.

A pressão de projeto do gasoduto do Campo de Camarupim (entre a Unidade Estacionária de Produção e a Unidade de Tratamento de Gás de Cacimbas - UTGC) é de 228 kgf/cm<sup>2</sup>.

#### V.1.4 Características do Produto Utilizado

As informações sobre o condensado foram fornecidas pela PETROBRAS e são apresentadas nas tabelas V.1.4-1 e V.1.4-2. As características físicas e químicas do condensado são resultado de simulações, onde os dados de entrada são o composicional do fluido do reservatório com base em análises de PVT (Pressão, Volume e Temperatura) de amostras do Poço 4-ESS-164A.

**Tabela V.1.4-1** - Características do condensado utilizado nas simulações de vazamento no Campo de Camarupim.

PARÂMETROS	VALORES
Grau API	87,6
Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	645,91
Viscosidade dinâmica a 25°C (cP)	0,3728
Tensão interfacial (din/cm)	6,1431

Fonte: PETROBRAS.

**Tabela V.1.4-2 - Composição do condensado do Gasoduto do Campo de Camarupim.**

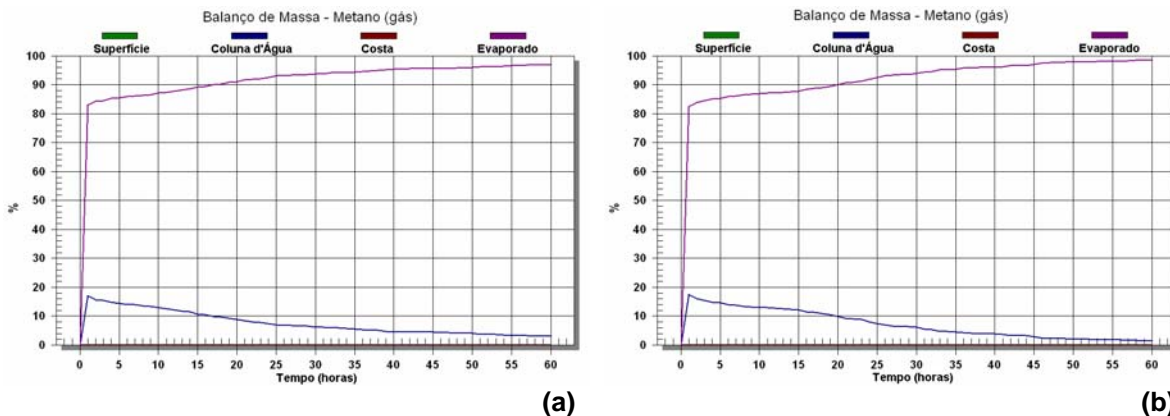
COMPONENTES	FRAÇÃO MOLAR
CO <sub>2</sub>	0,0139
Nitrogênio	0,0121
Metano	0,8482
Etano	0,0558
Propano	0,0221
i-Butano	0,0046
<i>n</i> -Butano	0,0091
i-Pentano	0,0033
<i>n</i> -Pentano	0,0031
<i>n</i> -Hexano	0,0034
<i>n</i> -Heptano	0,0040
<i>n</i> -Octano	0,0047
<i>n</i> -Nonano	0,0034
<i>n</i> -Decano	0,0024
<i>n</i> -Undecano	0,0017
<i>n</i> -Dodecano	0,0013
<i>n</i> -Tridecano	0,0012
<i>n</i> -Tetradecano	0,0011
<i>n</i> -Pentadecano	0,0009
<i>n</i> -Hexadecano	0,0006
<i>n</i> -Heptadecano	0,0005
<i>n</i> -Octadecano	0,0005
<i>n</i> -Nonadecano	0,0004
<i>n</i> -Eicosano	0,0017
Total	1,0000

Fonte: PETROBRAS.

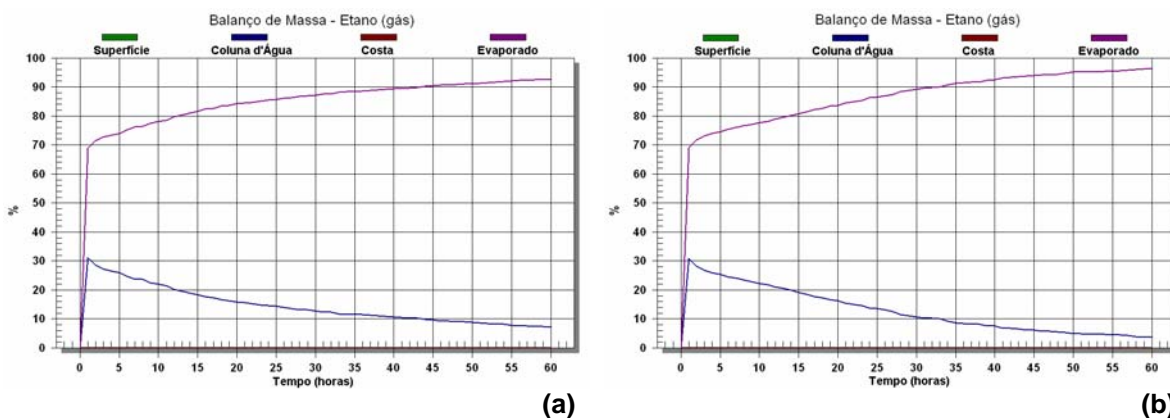
De acordo com sua composição química, o condensado no Campo de Camarupim pode ser dividido, quanto à sua fração molar, em: (a) inertes (não hidrocarbonetos), com 2,60% do total, correspondentes ao dióxido de carbono e nitrogênio; (b) *n*-alcanos com número de carbonos entre 1 e 4 (93,98% do total), correspondentes ao metano, etano, propano, iso-butano e *n*-butano; (c) *n*-alcanos voláteis com número de carbonos entre 5 e 10 (2,43% do total), correspondentes ao iso-pentano, *n*-pentano, *n*-hexano, *n*-heptano, *n*-octano, *n*-nonano e *n*-decano, (d) os *n*-alcanos semi-voláteis com número de carbonos entre 10 e 15 (0,62%), correspondentes ao *n*-undecano, *n*-odecano, *n*-tridecano, *n*-tetradecano e *n*-pentadecano; e (e) os *n*-alcanos com baixa volatilidade com número de carbonos entre 15 e 20 (0,37%), correspondentes ao *n*-hexadecano, *n*-heptadecano, *n*-octadecano, *n*-nonadecano e *n*-eicosano. Como os componentes com número de carbonos entre 10 e 20 representam menos de 1% do volume total, estes não foram considerados na modelagem. Nas simulações só foram considerados os *n*-alcanos com número de carbonos entre 1 a 10, que correspondem a 96,41% do total do volume de condensado a ser derramado. Nas condições simuladas (vazamento a 23 m de profundidade), foi considerado que os *n*-alcanos mais leves (C1-C4) encontram-se no estado gasoso (2.421,9 m<sup>3</sup>), já os *n*-alcanos mais pesados (C5-C10), no estado líquido (62,62 m<sup>3</sup>). Por este motivo, as simulações foram divididas em duas parcelas, uma parcela gasosa e outra líquida, a fim de representar adequadamente o comportamento distinto das mesmas.

Foram realizadas simulações determinísticas de 60 horas para a parcela gasosa, considerando os gases de maior representatividade nesta (metano, etano e propano), a fim de definir o gás que deveria ser utilizado na representação dessa parcela do condensado. Os resultados mostraram que mais de 80% de todos os gases evaporam em, aproximadamente, 14 horas de simulação. A definição do gás a ser simulado baseou-se na seleção daquele com o maior tempo para a evaporação de 90% do volume total. Assim, por este critério, foi selecionado o etano, pois a evaporação de 90% desse ocorre em um período inferior a 45 horas no verão e inferior a 36 horas no inverno. Para os demais gases, essa mesma porcentagem do volume evapora em menos de 22 horas. As

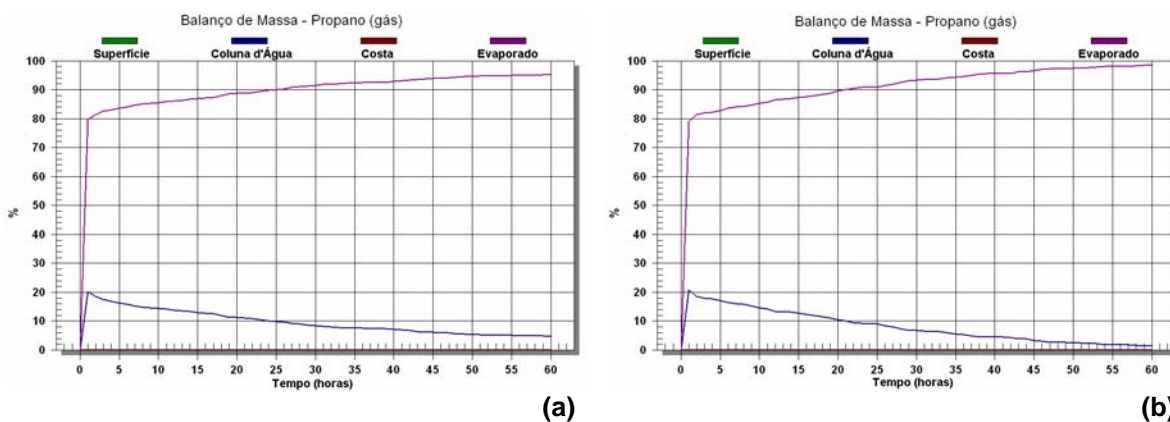
figuras V.1.4-1 a V.1.4-3 ilustram, respectivamente, o balanço de massa das simulações teste para esses gases.



**Figura V.1.4-1** - Balanço de massa para os cenários determinísticos-teste de vazamento de metano no Gasoduto do Campo de Camarupim, no (a) verão e (b) inverno.



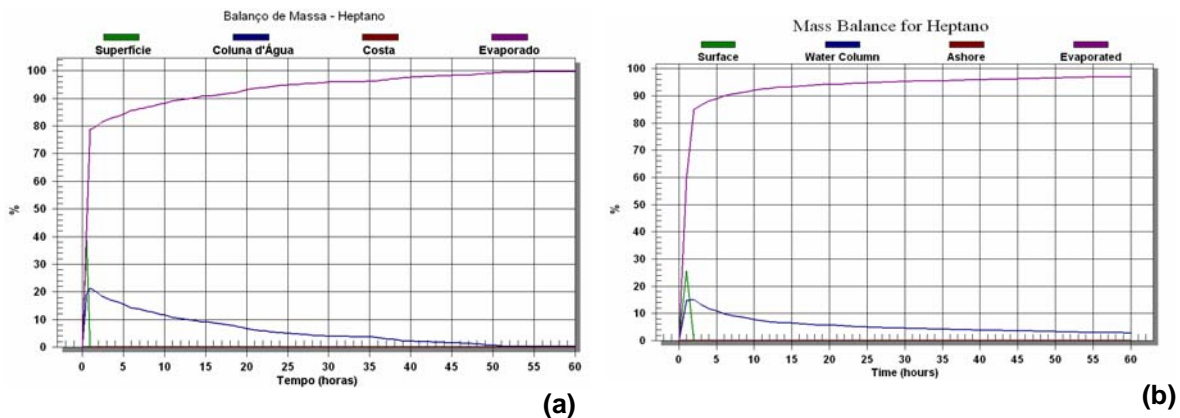
**Figura V.1.4-2** - Balanço de massa para os cenários determinísticos-teste de vazamento de etano no Gasoduto do Campo de Camarupim, no (a) verão e (b) inverno.



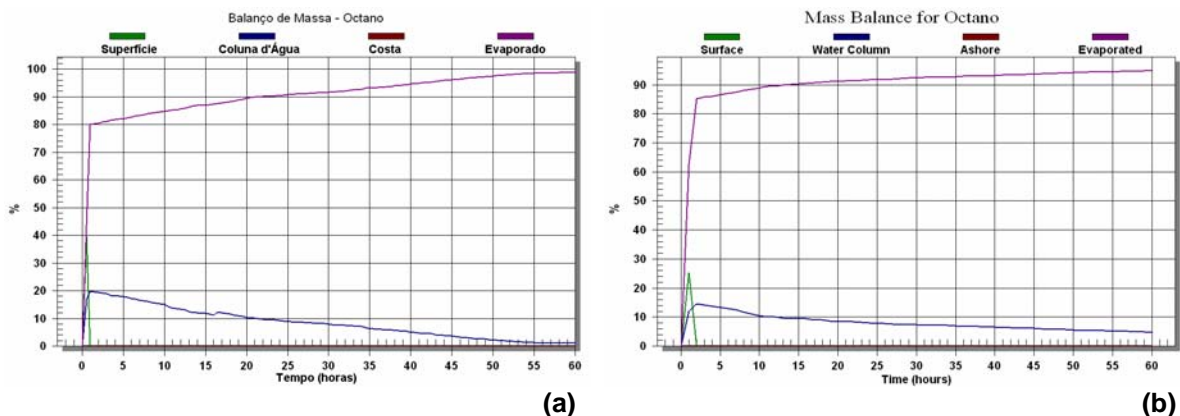
**Figura V.1.4-3** - Balanço de massa para os cenários determinísticos-teste de vazamento de propano no Gasoduto do Campo de Camarupim, no (a) verão e (b) inverno.



Para as simulações da parcela líquida, também foram realizadas simulações determinísticas de 60 horas, considerando os constituintes de maior representatividade nesta (heptano e octano), a fim de definir o componente que deveria ser utilizado na representação dessa parcela do condensado. As figuras V.1.4-4 e V.1.4-5 ilustram, respectivamente, o balanço de massa das simulações teste para esses compostos. A definição da parte líquida a ser simulada baseou-se na seleção daquela com o maior tempo para a evaporação de 90% do volume total. Assim, por este critério foi selecionado o octano, pois a evaporação de 90% desse ocorre em um período de, aproximadamente, 24 horas no verão e 12 horas no inverno.



**Figura V.1.4-4** - Balanço de massa para os cenários determinísticos-teste de vazamento de heptano no Gasoduto do Campo de Camarupim, no (a) verão e (b) inverno.



**Figura V.1.4-5** - Balanço de massa para os cenários determinísticos-teste de vazamento de octano no Gasoduto do Campo de Camarupim, no (a) verão e (b) inverno.

## V.2 RESUMO DOS CENÁRIOS SIMULADOS

As simulações para a determinação da área de influência de derrames de condensado no Campo de Camarupim foram realizadas utilizando-se o modelo CHEMMAP no modo probabilístico. Como neste modo é considerada a variabilidade das forçantes ambientais, as simulações de comportamento da pluma são realizadas através da variação das condições meteorológicas e oceanográficas, divididas em duas condições principais correspondendo aos períodos de verão (janeiro a março) e inverno (junho a agosto). Para incorporar essas variabilidades, cada cenário probabilístico foi composto por uma série de 50 simulações com o modelo CHEMMAP.

Para a parcela gasosa, foram adotados dois critérios de parada, os tempos de simulação de: 1) 45 horas para o verão, e 2) 36 horas para o inverno. Esses períodos foram estabelecidos a partir de testes com simulações determinísticas apresentados no Item V.1.4. Observa-se que, no verão, em aproximadamente 45 horas, mais de 90% do condensado já havia evaporado. Assim, foram simulados os tempos de 1, 6, 9, 12, 36 e 45 horas. Como no inverno mais de 90% já havia evaporado em menos de 36 horas, foram simulados apenas, os tempos de 1, 6, 9, 12 e 36 horas. A tabela V.2-1 apresenta os cenários simulados para um vazamento da parcela gasosa do condensado no Gasoduto do Campo de Camarupim.

Para a parcela líquida, foram adotados dois critérios de parada, os tempos de simulação de: 1) 24 horas para o verão e 2) 12 horas para o inverno. Esses períodos foram estabelecidos a partir de testes com simulações determinísticas apresentados no Item V.1.4. Como no verão em aproximadamente 24 horas mais de 90% do condensado já havia evaporado, foram simulados os tempos de 1, 6, 9, 12 e 24 horas. No inverno mais de 90% já havia evaporado em aproximadamente 12 horas, portanto, foram simulados os tempos de 1, 6, 9 e 12 horas. A tabela V.2-2 apresenta os cenários simulados para um vazamento da parcela líquida do condensado no Gasoduto do Campo de Camarupim.



**Tabela V.2-1 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de vazamentos de condensado, considerando a parcela gasosa, no Gasoduto do Campo de Camarupim.**

CENÁRIOS	PRODUTO	VOLUME (m <sup>3</sup> )	ESTAÇÃO DO ANO	TEMPO
CAM_COND_VER_2422_1H	Etano	2.421,9	Verão	1 hora
CAM_COND_VER_2422_6H	Etano	2.421,9	Verão	6 horas
CAM_COND_VER_2422_9H	Etano	2.421,9	Verão	9 horas
CAM_COND_VER_2422_12H	Etano	2.421,9	Verão	12 horas
CAM_COND_VER_2422_36H	Etano	2.421,9	Verão	36 horas
CAM_COND_VER_2422_45H	Etano	2.421,9	Verão	45 horas
CAM_COND_INV_2422_1H	Etano	2.421,9	Inverno	1 hora
CAM_COND_INV_2422_6H	Etano	2.421,9	Inverno	6 horas
CAM_COND_INV_2422_9H	Etano	2.421,9	Inverno	9 horas
CAM_COND_INV_2422_12H	Etano	2.421,9	Inverno	12 horas
CAM_COND_INV_2422_36H	Etano	2.421,9	Inverno	36 horas

**Tabela V.2-2 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de vazamentos de condensado, considerando a parcela líquida, no Gasoduto do Campo de Camarupim.**

CENÁRIOS	PRODUTO	VOLUME (m <sup>3</sup> )	ESTAÇÃO DO ANO	TEMPO
CAM_COND_VER_62_1H	Octano	62,62	Verão	1 hora
CAM_COND_VER_62_6H	Octano	62,62	Verão	6 horas
CAM_COND_VER_62_9H	Octano	62,62	Verão	9 horas
CAM_COND_VER_62_12H	Octano	62,62	Verão	12 horas
CAM_COND_VER_62_24H	Octano	62,62	Verão	24 horas
CAM_COND_INV_62_1H	Octano	62,62	Inverno	1 hora
CAM_COND_INV_62_6H	Octano	62,62	Inverno	6 horas
CAM_COND_INV_62_9H	Octano	62,62	Inverno	9 horas
CAM_COND_INV_62_12H	Octano	62,62	Inverno	12 horas

## **VI RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PARA UM VAZAMENTO DE CONDENSADO NO GASODUTO DO CAMPO DE CAMARUPIM**

Para a determinação da área de influência de acidentes com derrame de condensado a partir do Gasoduto do Campo de Camarupim, foi utilizado o modelo CHEMMAP para calcular as múltiplas trajetórias das plumas, e para a obtenção das curvas de contorno de probabilidade de condensado na superfície e coluna d'água e a média das máximas concentrações e massas esperadas em cada ponto de grade. Para incorporar a variabilidade das forçantes oceanográficas e meteorológicas foram realizadas 50 simulações considerando os padrões de circulação e transporte obtidos através da modelagem hidrodinâmica (Capítulo II) e os dados de vento medidos na Bacia de Campos (Item V.1.2) para o ano de 1992.

Nas simulações realizadas não são levadas em conta as ações provenientes de Planos de Contingência e Planos de Ações Emergenciais.

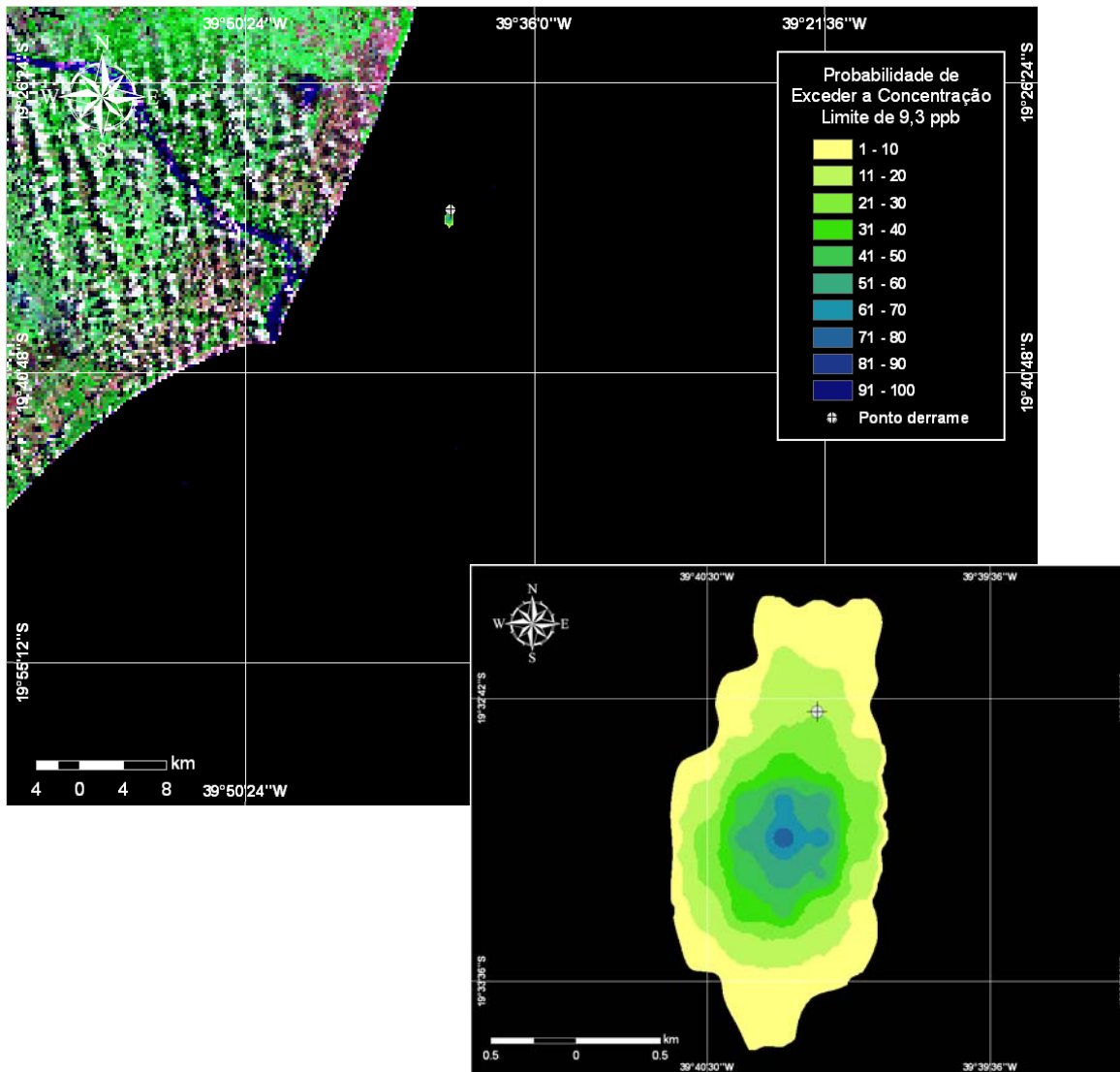
### **VI.1 SIMULAÇÕES DA PARCELA GASOSA**

#### **VI.1.1 Simulações Probabilísticas**

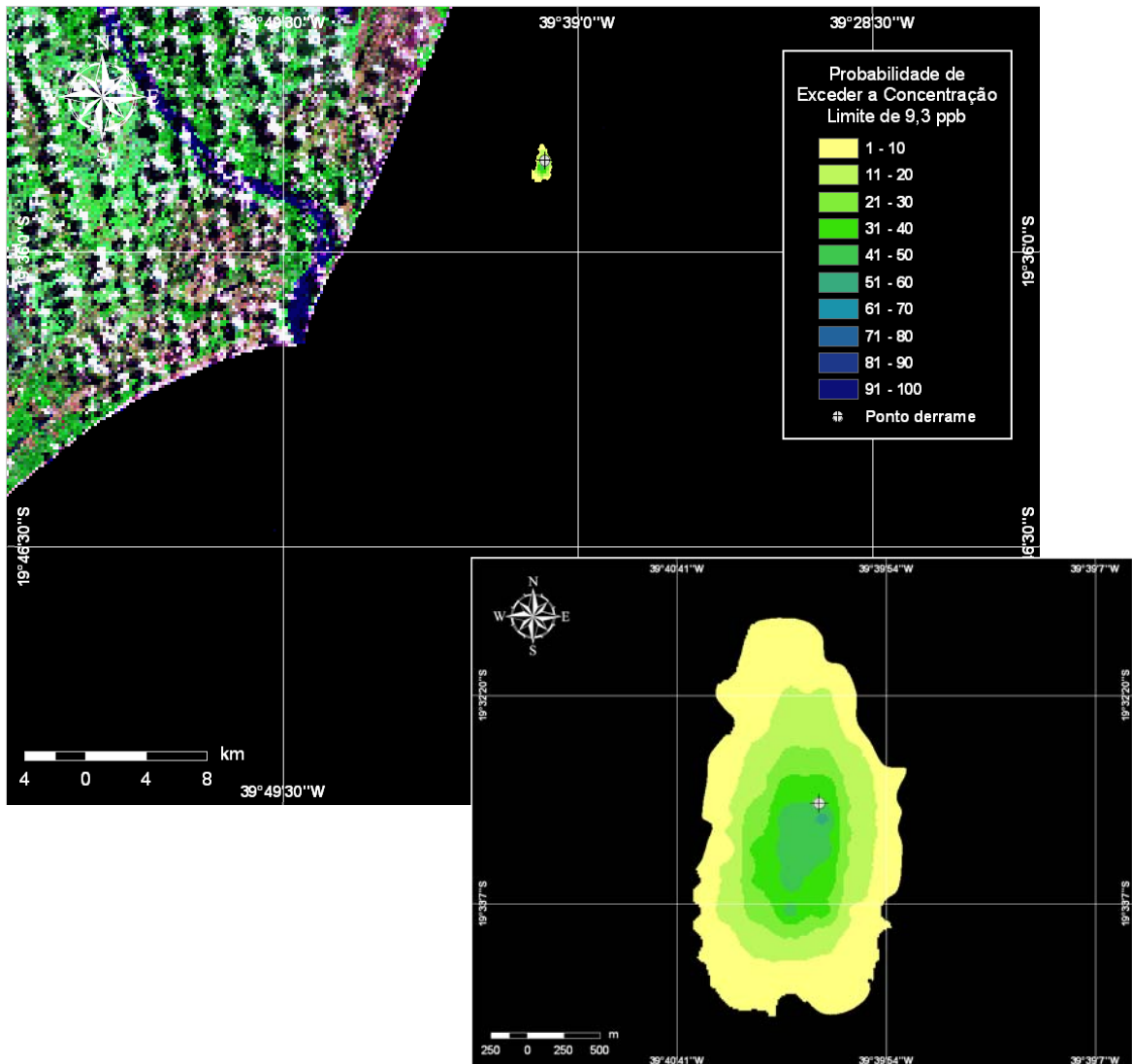
Segundo a Resolução CONAMA nº 357/05 (Brasil, 2005), não existe um limite para o lançamento de *n*-alcanos gasosos em corpos d'água. Dessa forma, o critério ambiental adotado nas simulações foi baseado em French McCay (2002), que estabelece um valor médio de toxicidade (LC50) para o propano em 9.308,0 ppb. Como todas as concentrações calculadas na coluna d'água ficaram abaixo deste critério, com o objetivo de dar suporte e orientar o desenvolvimento de possíveis trabalhos de monitoramento ambiental na área do empreendimento, neste relatório são apresentados os resultados da mancha de condensado com concentrações até 1.000 vezes inferiores ao valor adotado, ou seja, 9,3 ppb.

Nas figuras VI.1.1-1 a VI.1.1-11 são apresentados os resultados da parcela gasosa dos cenários de vazamento de condensado a partir do Gasoduto do Campo de Camarupim, ocorrendo durante os meses de verão e inverno. Essas

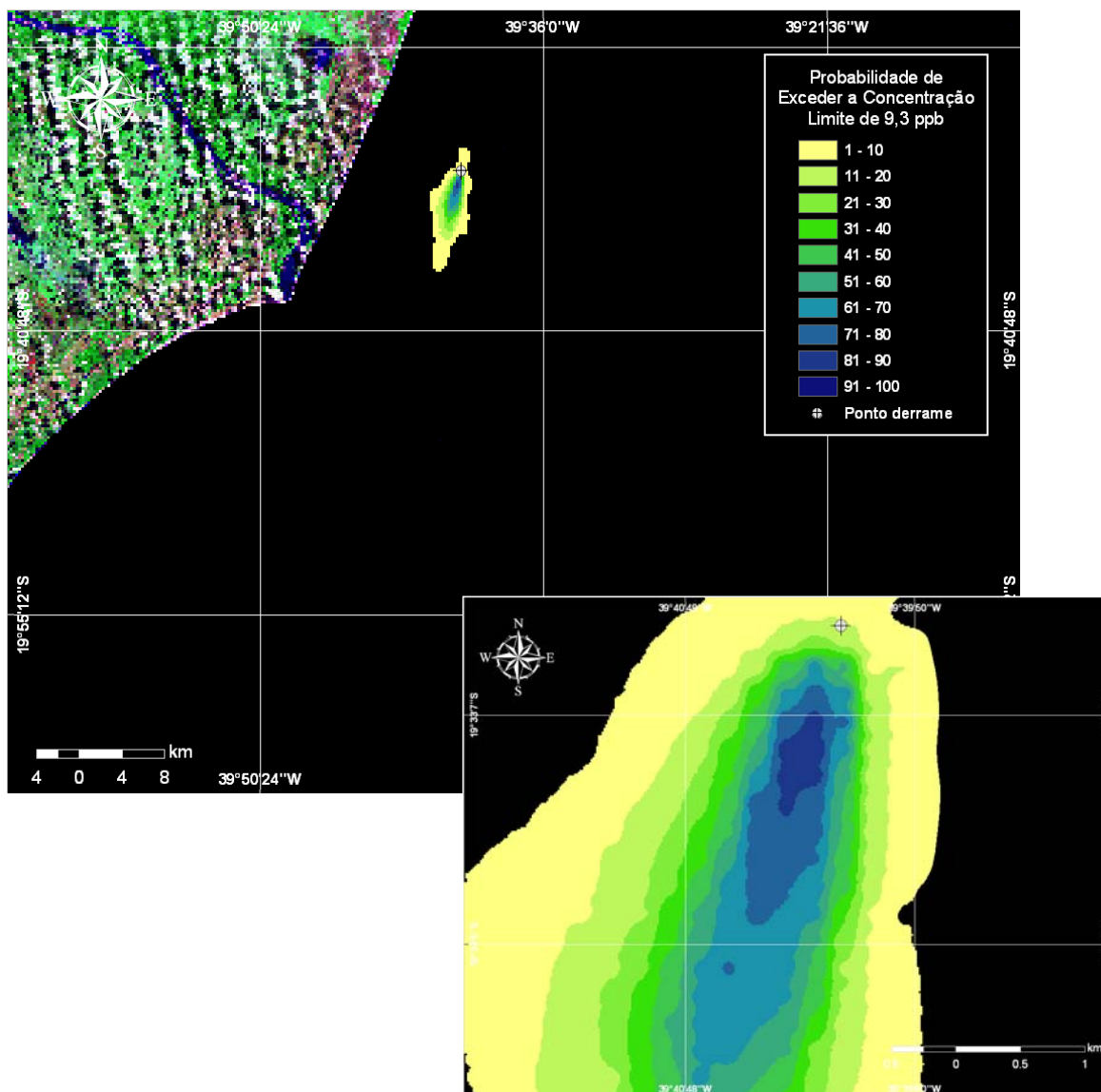
figuras mostram os contornos de probabilidade da presença de condensado na coluna d'água para todos os cenários simulados ao longo de 45 horas no verão e 36 horas no inverno. Os contornos de probabilidade são referentes ao corte utilizado de 9,3 ppb, ou seja, a probabilidade é calculada em função da concentração limite de gases dissolvidos na coluna d'água de 9,3 ppb.



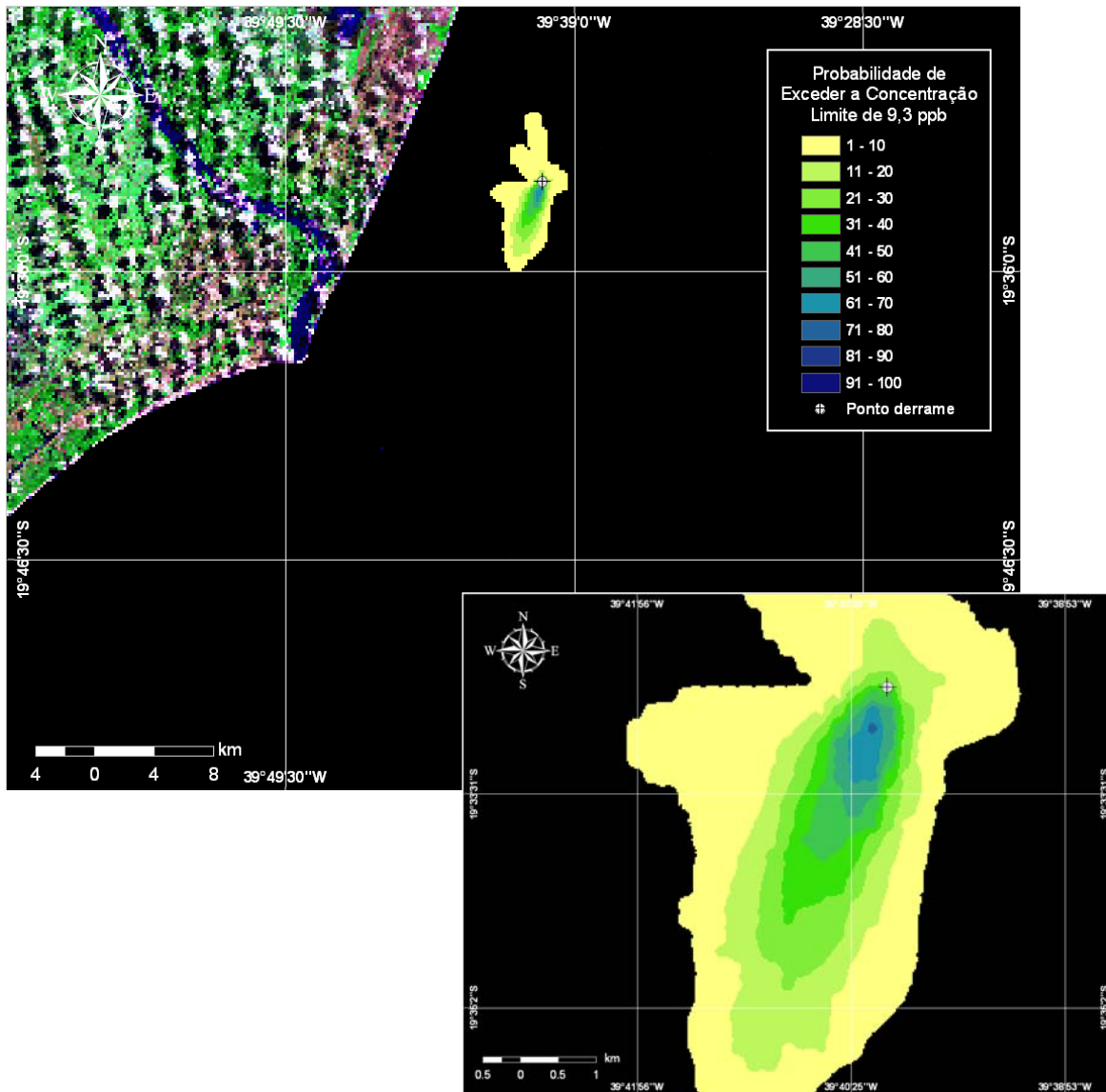
**Figura VI.1.1-1** - Cenário CAM\_COND\_VER\_2422\_1H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 9,3 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 2.421,9 m<sup>3</sup> após 1 hora.



**Figura VI.1.1-2** - Cenário CAM\_COND\_INV\_2422\_1H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 9,3 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 2.421,9 m<sup>3</sup> após 1 hora.

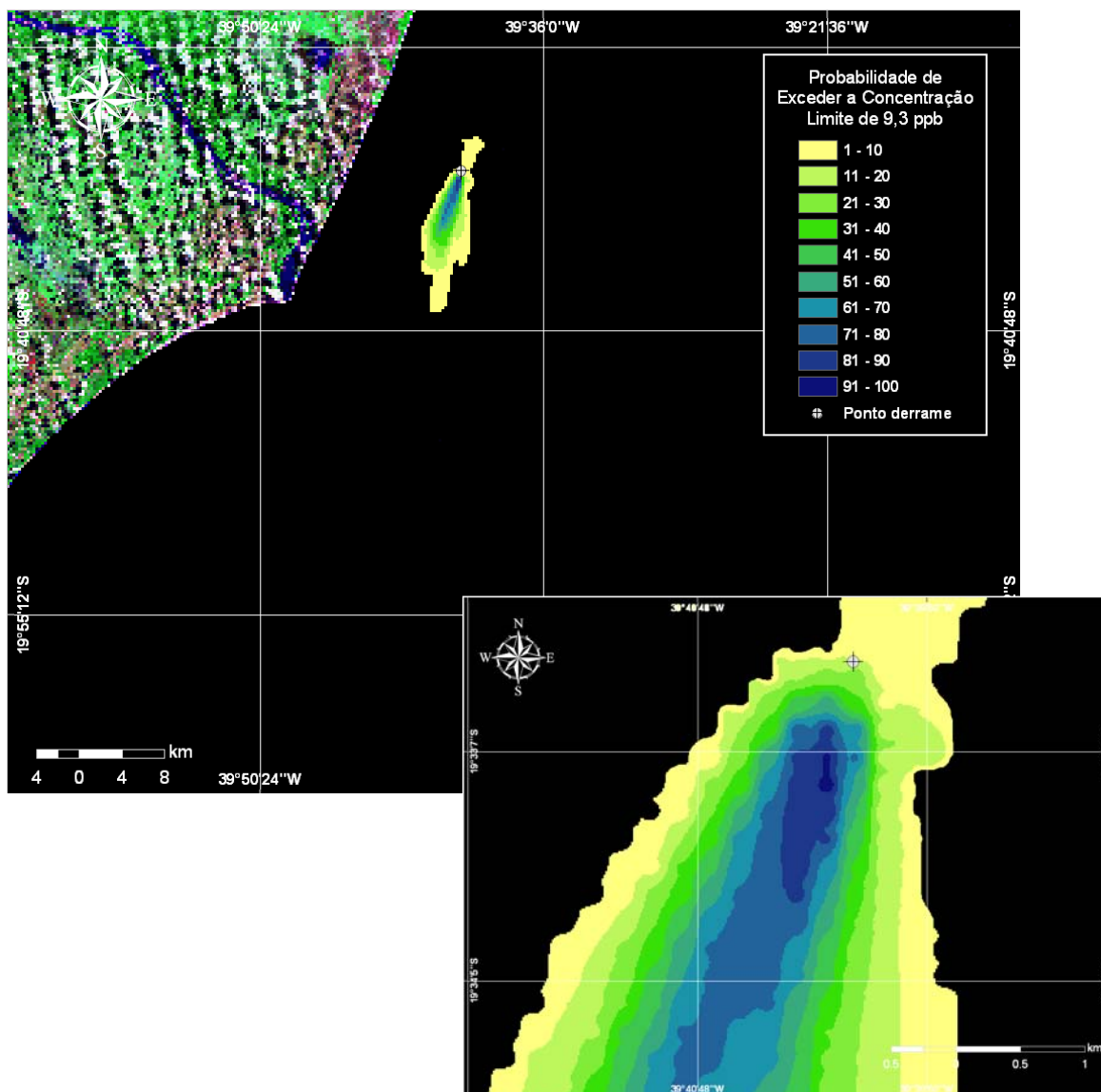


**Figura VI.1.1-3** - Cenário CAM\_COND\_VER\_2422\_6H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 9,3 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 2.421,9 m<sup>3</sup> após 6 horas.

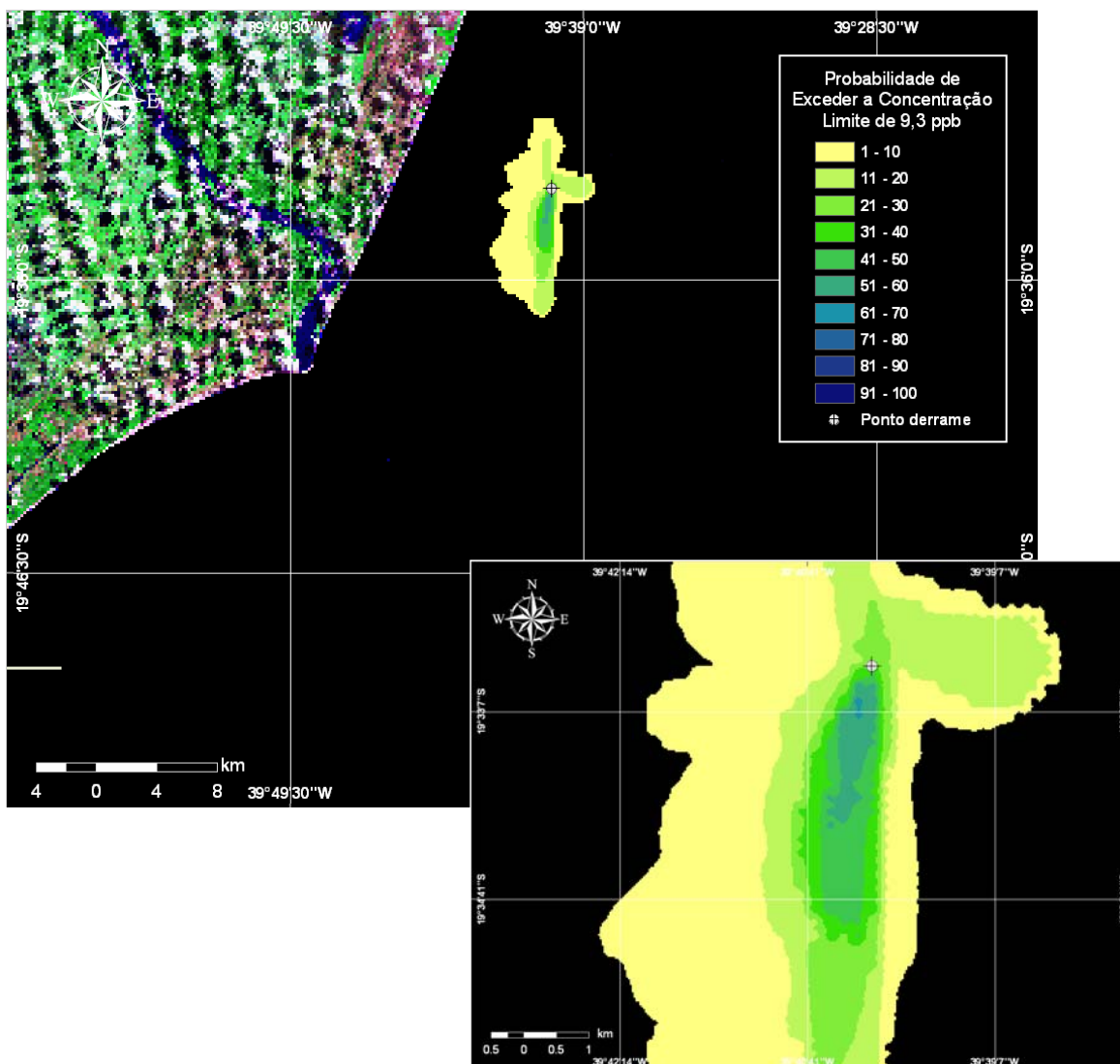


**Figura VI.1.1-4** - Cenário CAM\_COND\_INV\_2422\_6H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 9,3 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 2.421,9 m<sup>3</sup> após 6 horas.



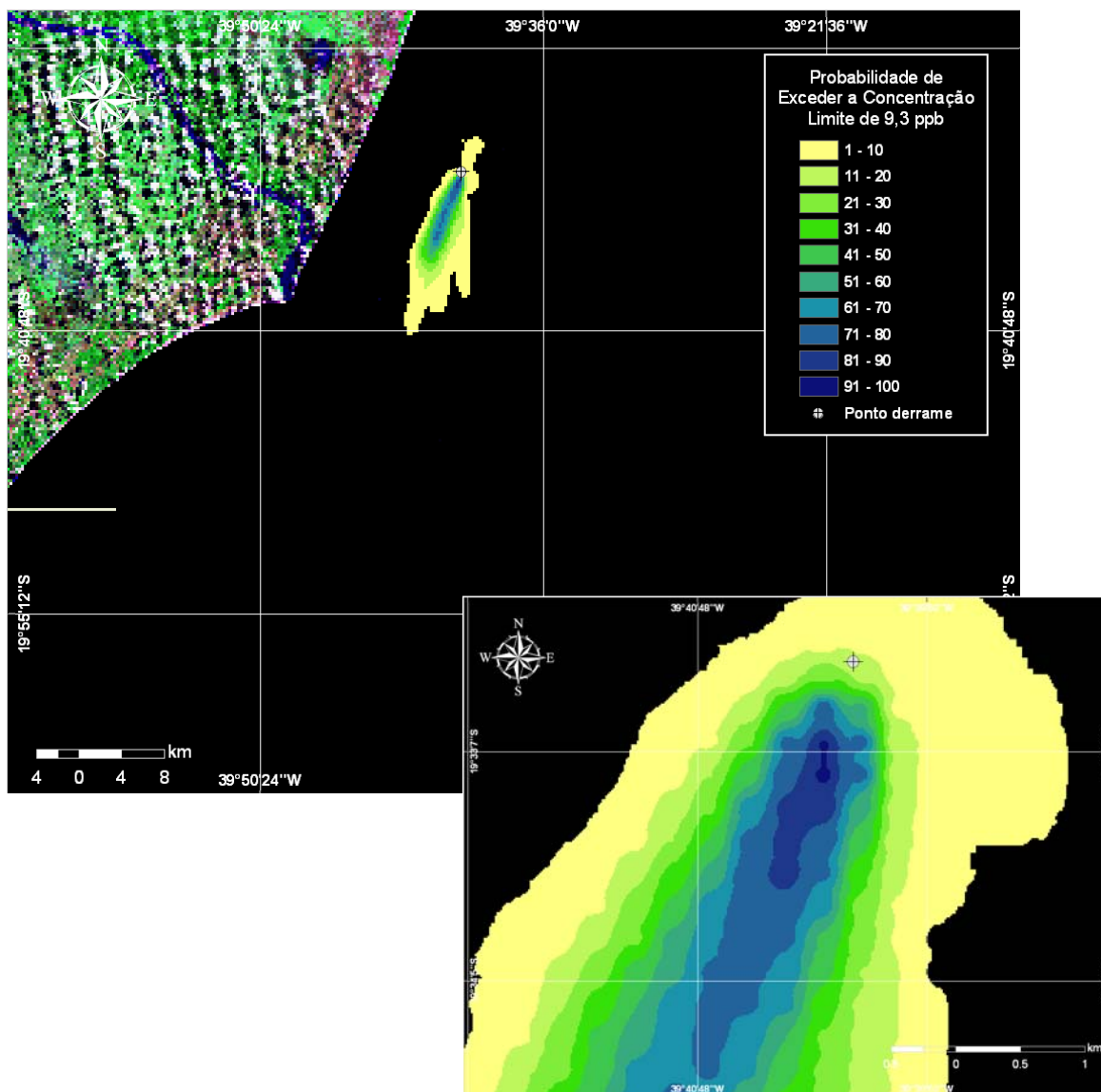


**Figura VI.1.1-5** - Cenário CAM\_COND\_VER\_2422\_9H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 9,3 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 2.421,9 m<sup>3</sup> após 9 horas.

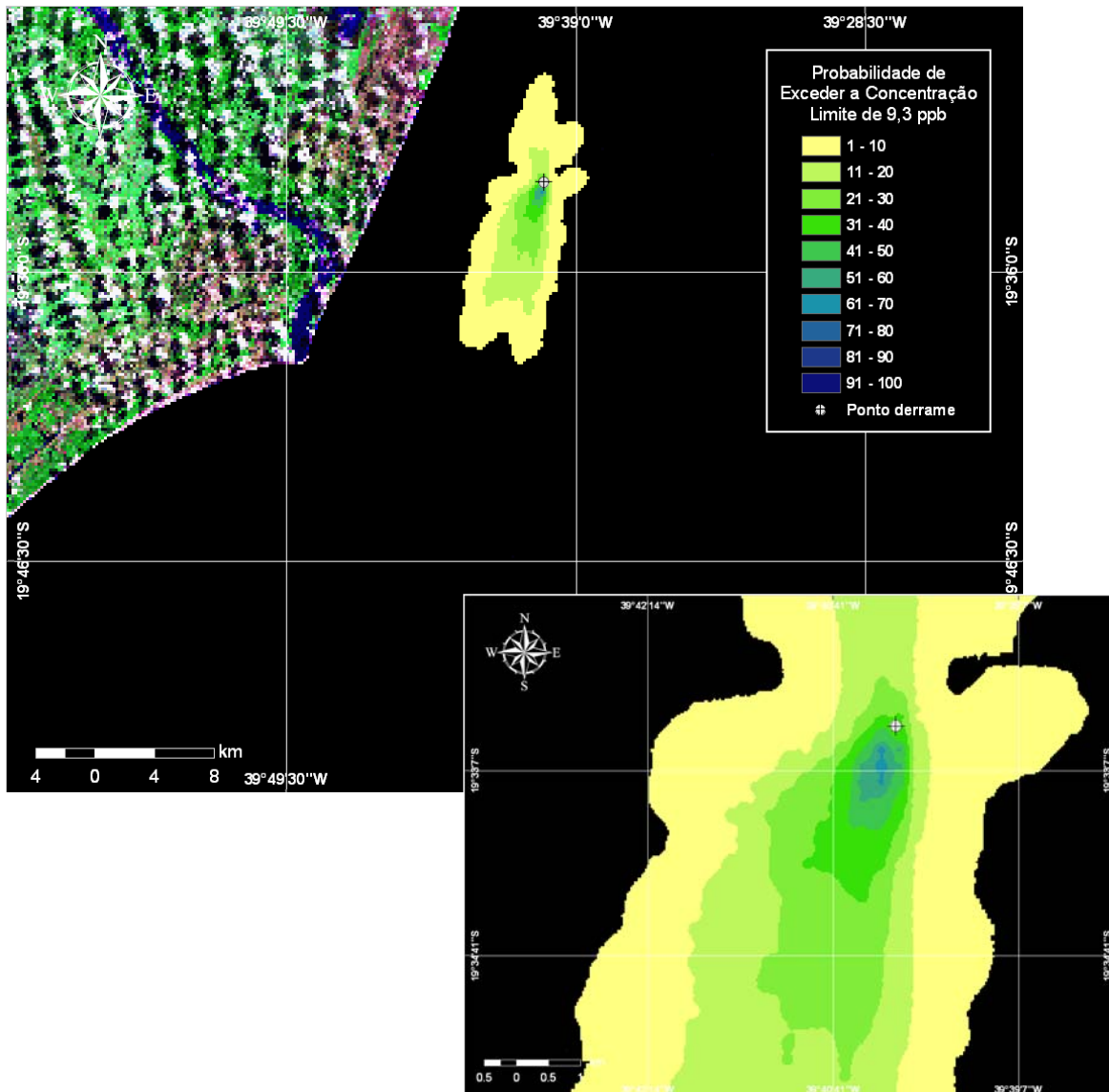


**Figura VI.1.1-6** - Cenário CAM\_COND\_INV\_2422\_9H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 9,3 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 2.421,9 m<sup>3</sup> após 9 horas.

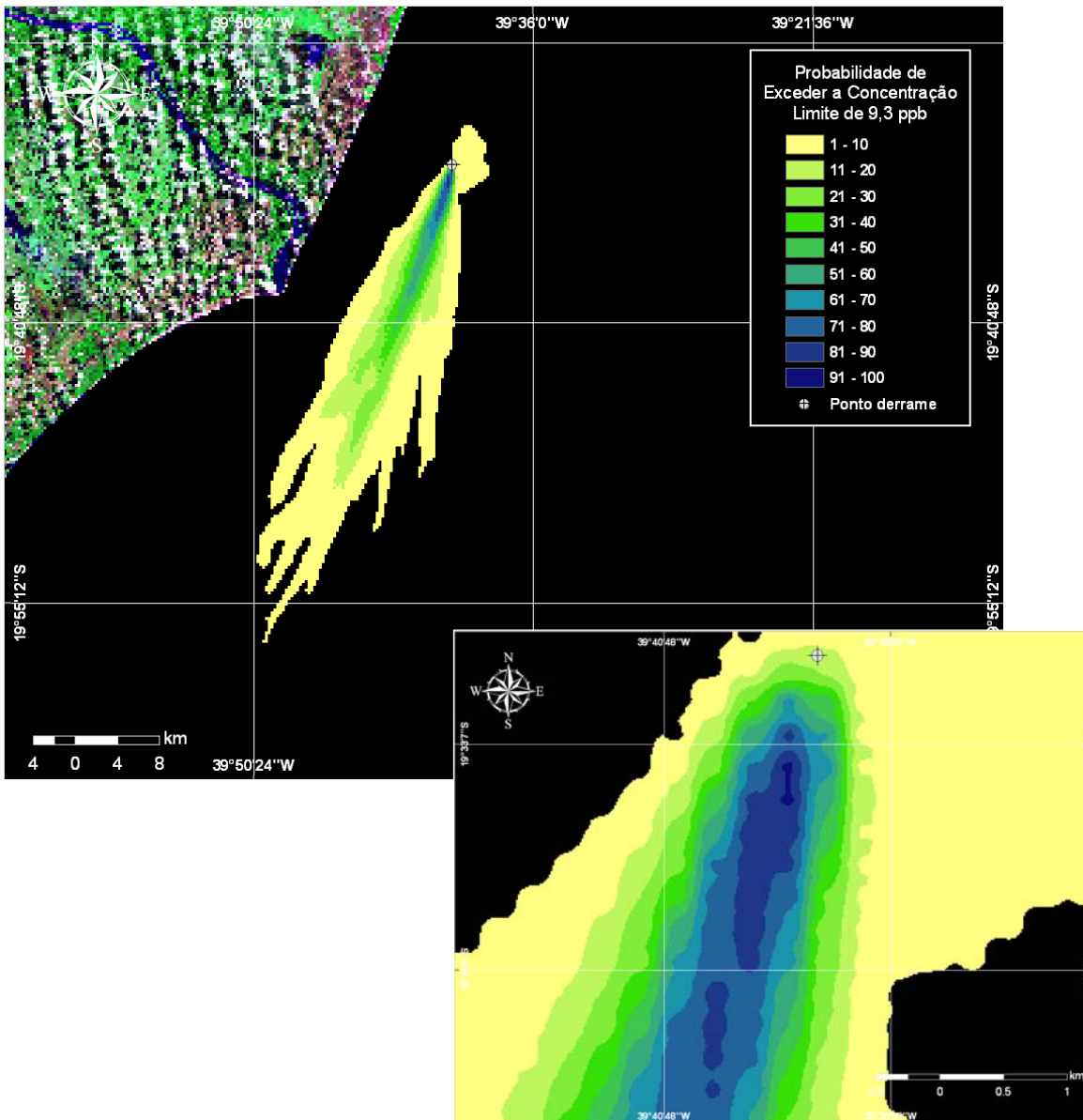




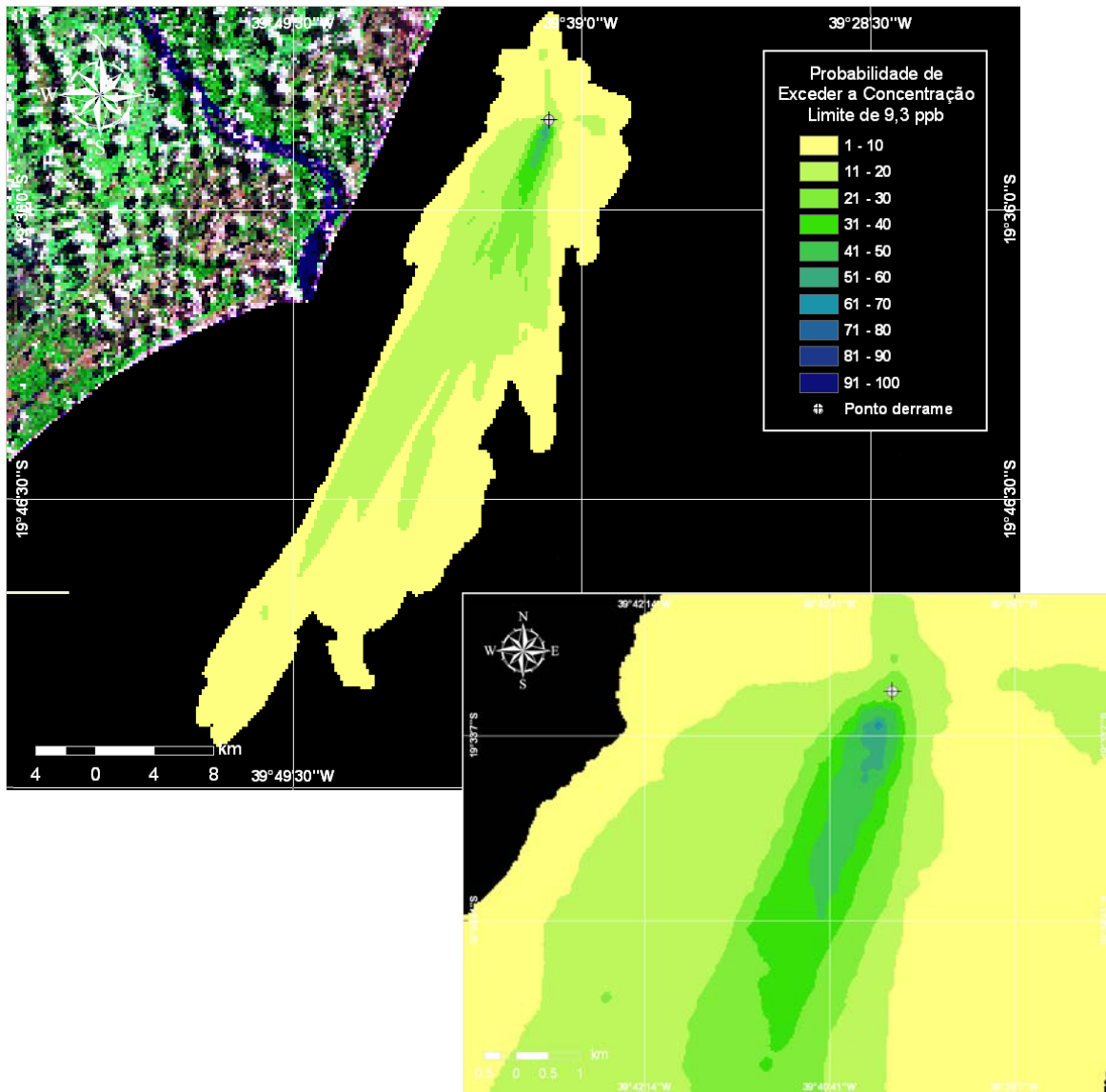
**Figura VI.1.1-7** - Cenário CAM\_COND\_VER\_2422\_12H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 9,3 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 2.421,9 m<sup>3</sup> após 12 horas.



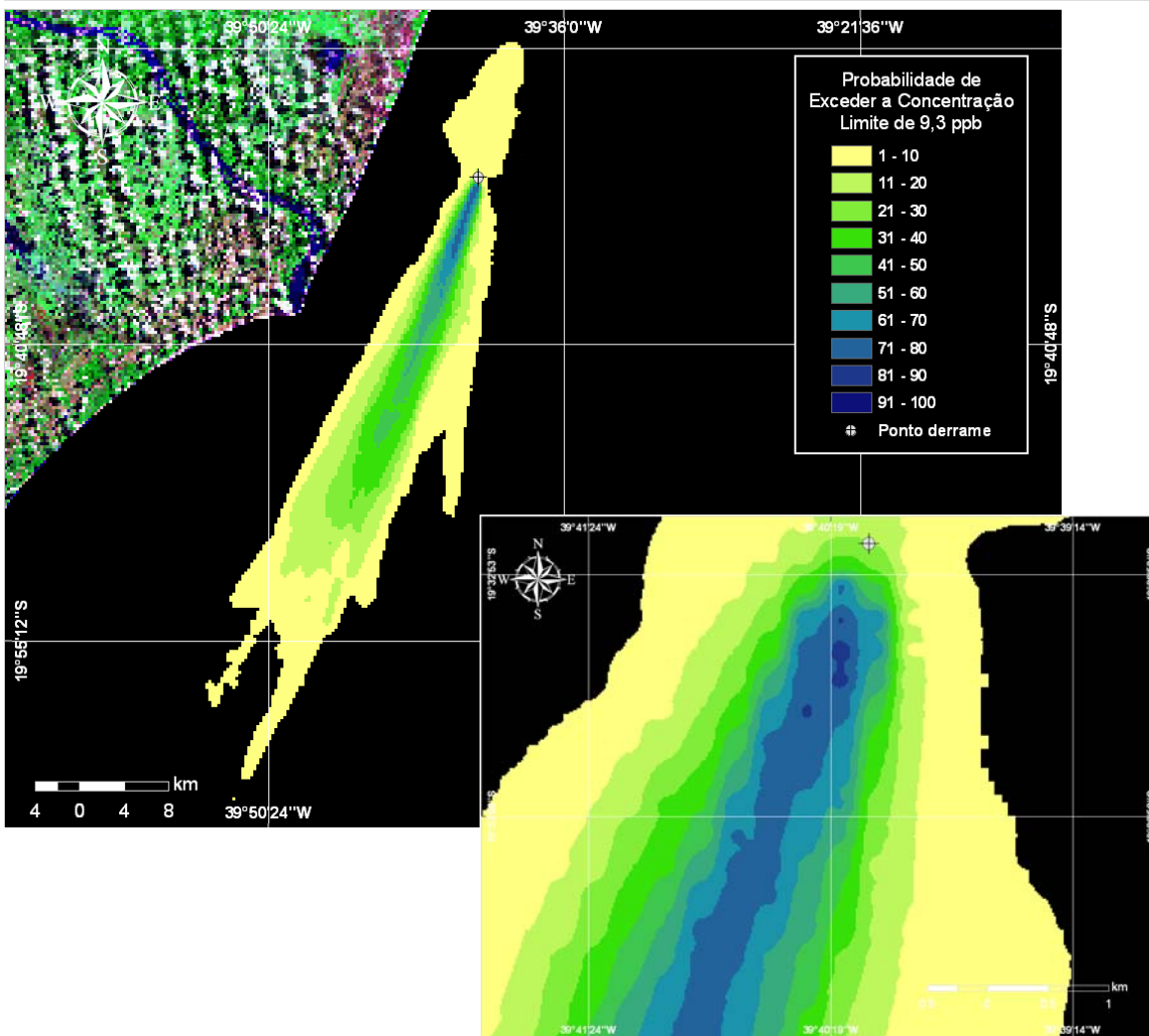
**Figura VI.1.1-8** - Cenário CAM\_COND\_INV\_2422\_12H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 9,3 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 2.421,9 m<sup>3</sup> após 12 horas.



**Figura VI.1.1-9** - Cenário CAM\_COND\_VER\_2422\_36H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 9,3 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 2.421,9 m<sup>3</sup> após 36 horas.



**Figura VI.1.1-10** - Cenário CAM\_COND\_INV\_2422\_36H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 9,3 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 2.421,9 m<sup>3</sup> após 36 horas.

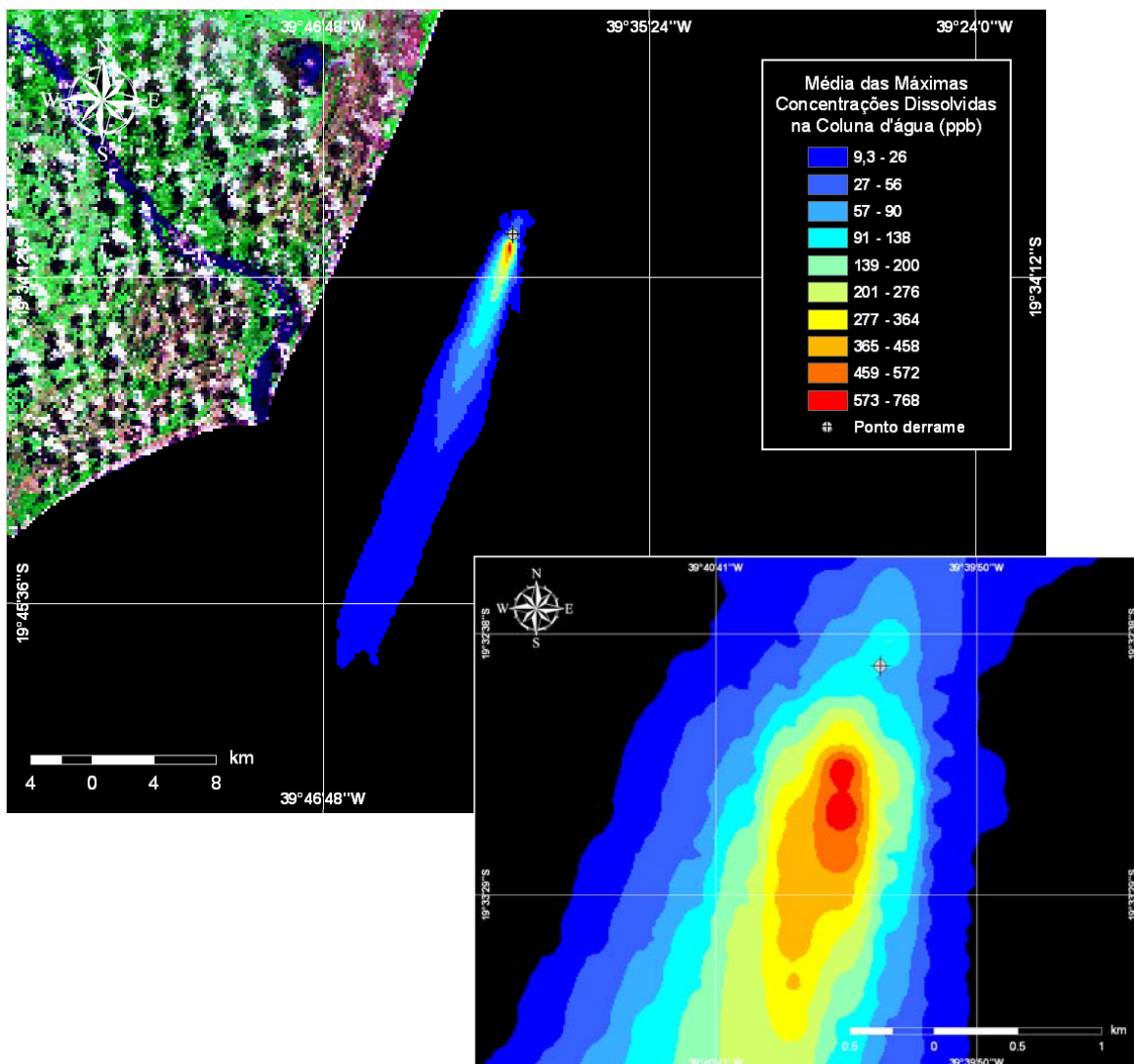


**Figura VI.1.1-11** - Cenário CAM\_COND\_VER\_2422\_45H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 9,3 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 2.421,9 m<sup>3</sup> após 45 horas.

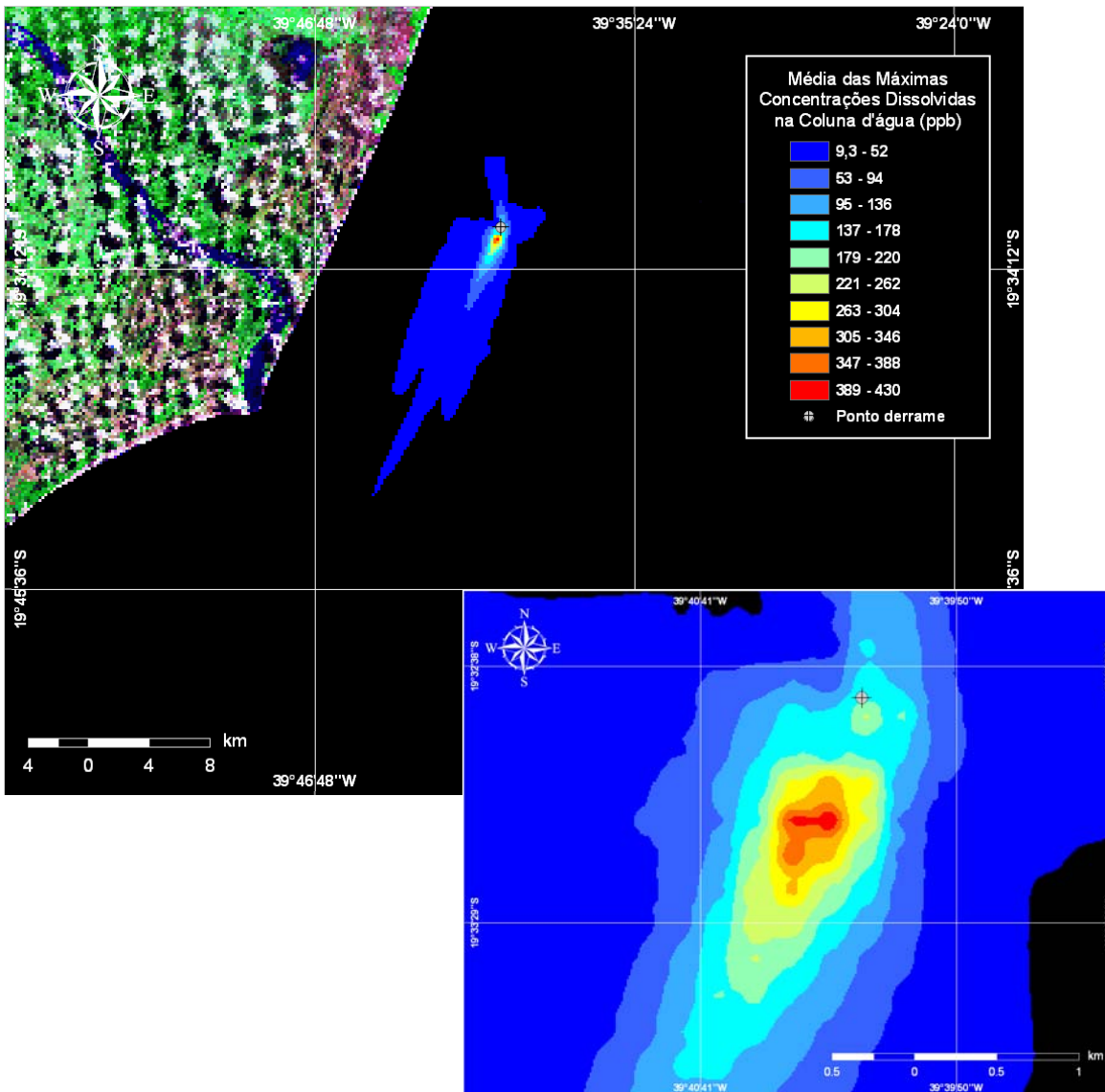
Nas simulações probabilísticas, as múltiplas trajetórias das plumas também foram utilizadas para a produção de curvas de contorno para as médias das máximas concentrações esperadas de condensado em cada ponto de grade. Ou seja, ao final de cada uma das simulações, registra-se o máximo valor de concentração dissolvida na coluna d'água para cada ponto de grade e, ao final de todas as 50 simulações, calcula-se a média de todas as máximas obtidas. Cabe ressaltar que a área ilustrada nas figuras representa a média das máximas concentrações obtidas em todas as 50 simulações e não corresponde à posição da pluma em um determinado instante de tempo.



As figuras VI.1.1-12 e VI.1.1-13 apresentam as curvas de contorno da mancha de condensado para as médias das máximas concentrações calculadas para a coluna d'água ao longo das 45 horas e 36 horas de cada uma das 50 simulações, para os períodos de verão e inverno, respectivamente. O contorno das manchas apresentado nas figuras estende-se até 9,3 ppb correspondente à diluição de 1.000 vezes a concentração do critério ambiental adotado. As maiores concentrações calculadas foram de 768 ppb no verão e 430 ppb no inverno.



**Figura VI.1.1-12** - Cenário CAM\_COND\_VER\_2422\_45H. Média das máximas concentrações (ppb) de condensado na coluna d'água para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 2.421,9 m<sup>3</sup>, ao longo de 45 horas.



**Figura VI.1.1-13** - Cenário CAM\_COND\_INV\_2422\_36H. Média das máximas concentrações (ppb) de condensado na coluna d'água para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 2.421,9 m<sup>3</sup>, ao longo de 36 horas.

## VI.1.2 Simulações Determinísticas Críticas

A análise dos resultados das simulações probabilísticas de 45 e 36 horas permitiu identificar os cenários determinísticos críticos de verão e inverno, respectivamente. Para essas simulações foram considerados como mais críticos os cenários que apresentaram as maiores concentrações de condensado dissolvido na coluna d'água. Em ambos os cenários foram considerados vazamentos de 2.421,9 m<sup>3</sup>, ao longo de 1 minuto, simulados por 45 e 36 horas. A tabela VI.1.2-1 apresenta um resumo dos cenários críticos de verão e inverno obtidos para um acidente com vazamento no Gasoduto do Campo de Camarupim.

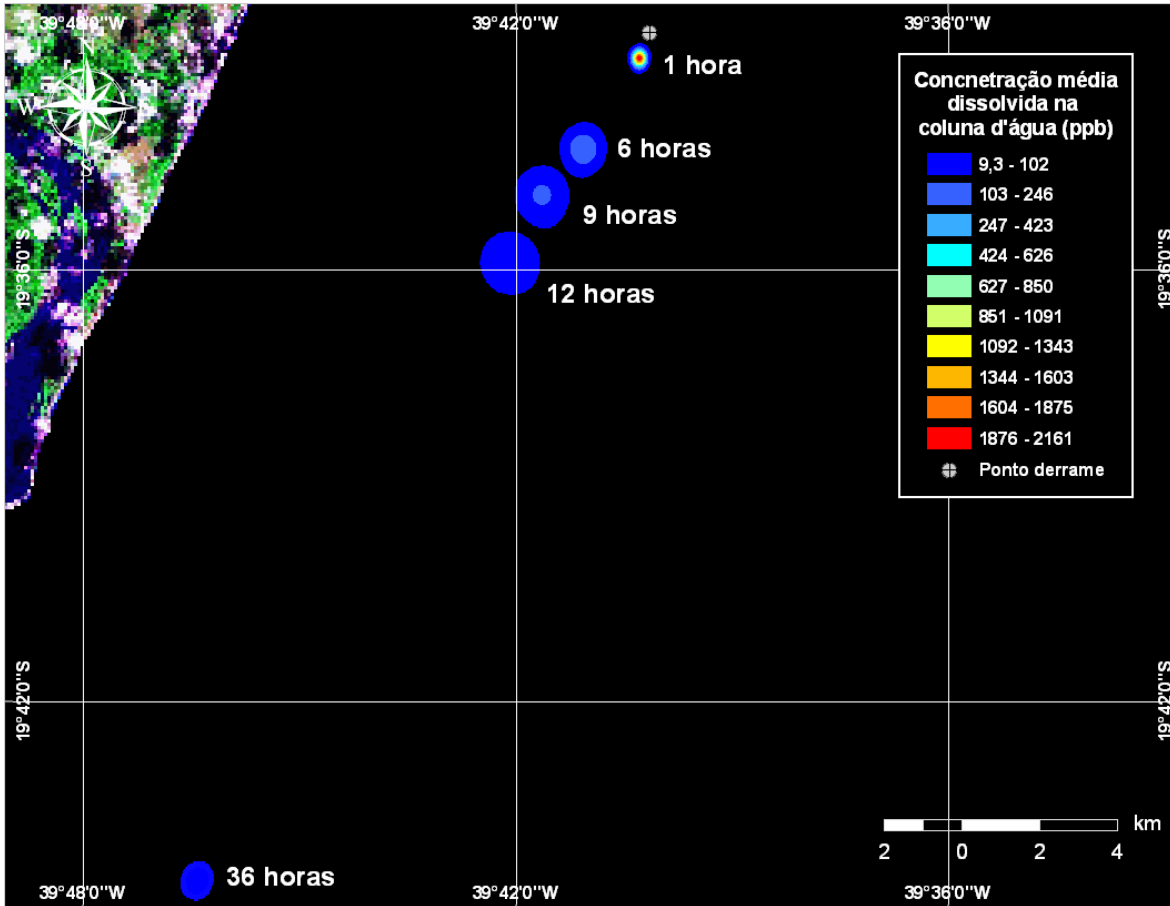
**Tabela VI.1.2-1** - Concentrações (ppb) de condensado dissolvido da coluna d'água ao longo de 45 e 36 horas de simulação, para os cenários determinísticos críticos de verão e de inverno, respectivamente.

TEMPO APÓS O DESCARTE (hora)	CONCENTRAÇÃO (ppb)	
	VERÃO	INVERNO
1	2.661	2.438
6	242	248
9	134	132
12	77	93
36	10	9
45	4	—

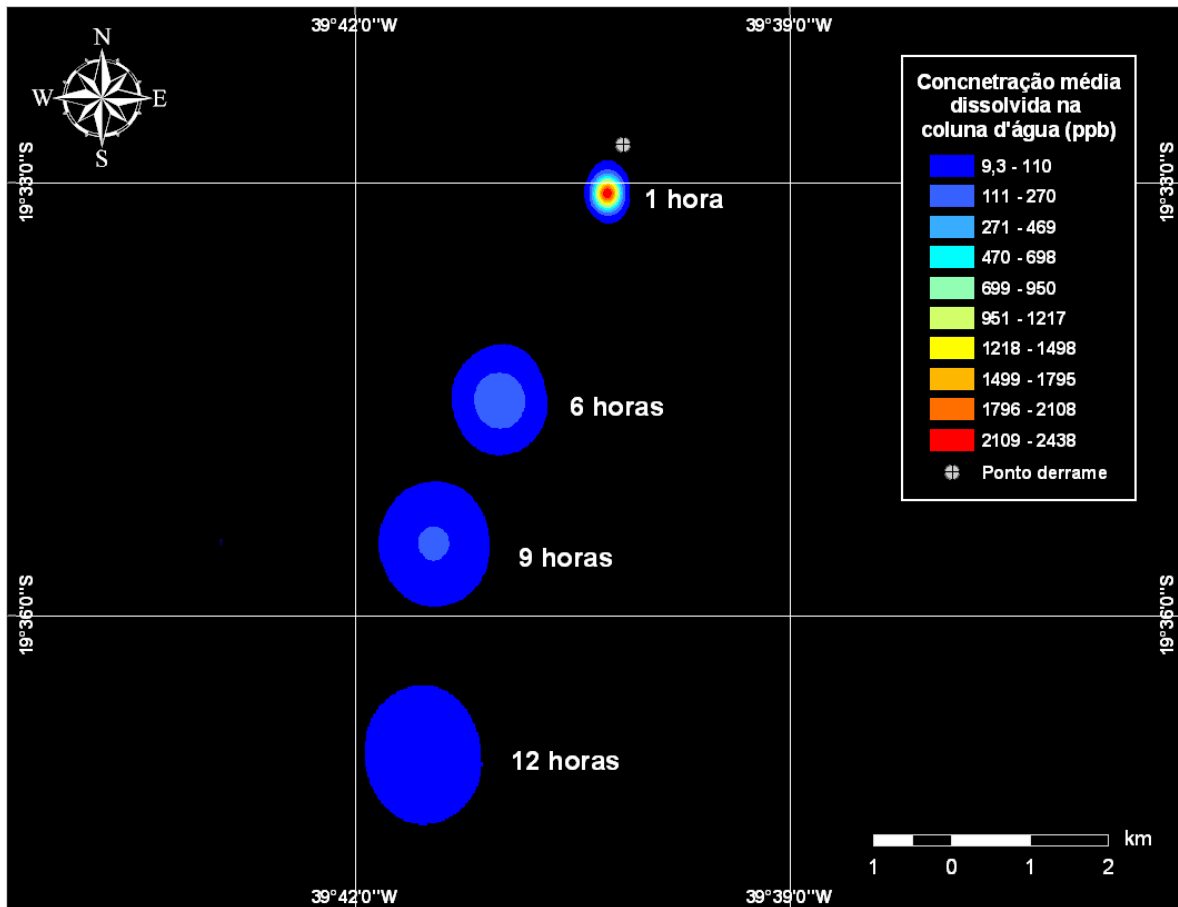
Nas figuras VI.1.2-1 e VI.1.2-2 são apresentados os contornos de concentração dos cenários críticos de verão e inverno, respectivamente, para o condensado derramado a partir do Gasoduto do Campo de Camarupim. Nestas, observam-se as concentrações dissolvidas na coluna d'água relativas aos tempos de 1, 6, 9, 12 e 36 horas após o descarte. As concentrações relativas ao tempo de 45 horas no verão e 36 horas no inverno não são apresentadas, pois já se encontram com valores abaixo do critério ambiental adotado. Em ambas as simulações, após 12 horas, as concentrações de condensado na coluna d'água encontram-se abaixo de 100 ppb. Ressalta-se que, conforme os balanços de massa apresentados na figura V.1.4-2, 80% do volume total de gases derramados



evapora em até 14 horas e que as concentrações apresentadas nas figuras correspondem a menos de 30% do volume total derramado.



**Figura VI.1.2-1** - Cenário determinístico crítico para um vazamento de condensado ocorrido no Gasoduto do Campo de Camarupim, no período de verão (janeiro a março), após 36 horas.



**Figura VI.1.2-2** - Cenário determinístico crítico para um vazamento de condensado ocorrido no Gasoduto do Campo de Camarupim, no período de inverno (junho a agosto), após 12 horas.

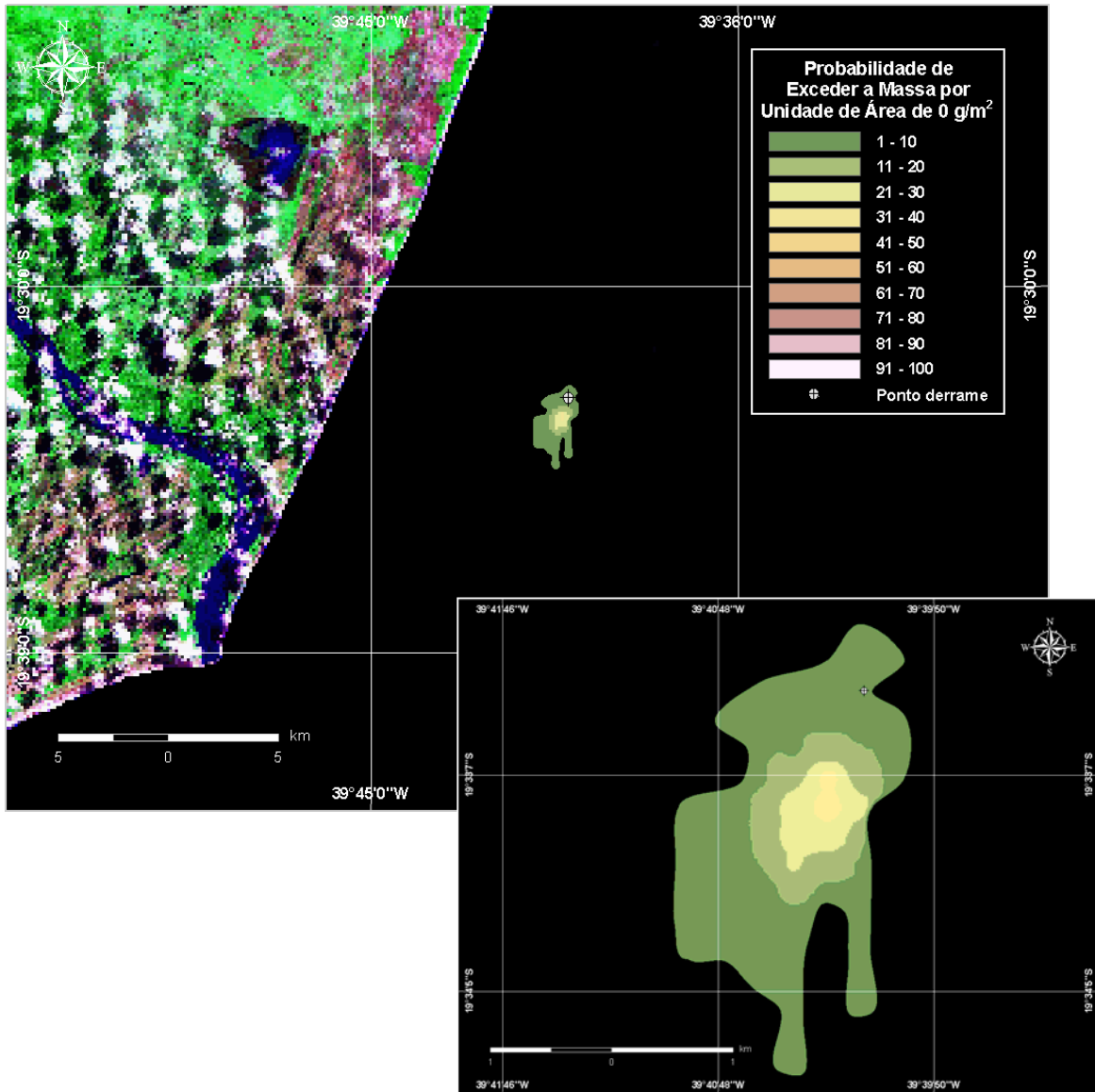
## VI.2 SIMULAÇÕES DA PARCELA LÍQUIDA

### VI.2.1 Simulações Probabilísticas

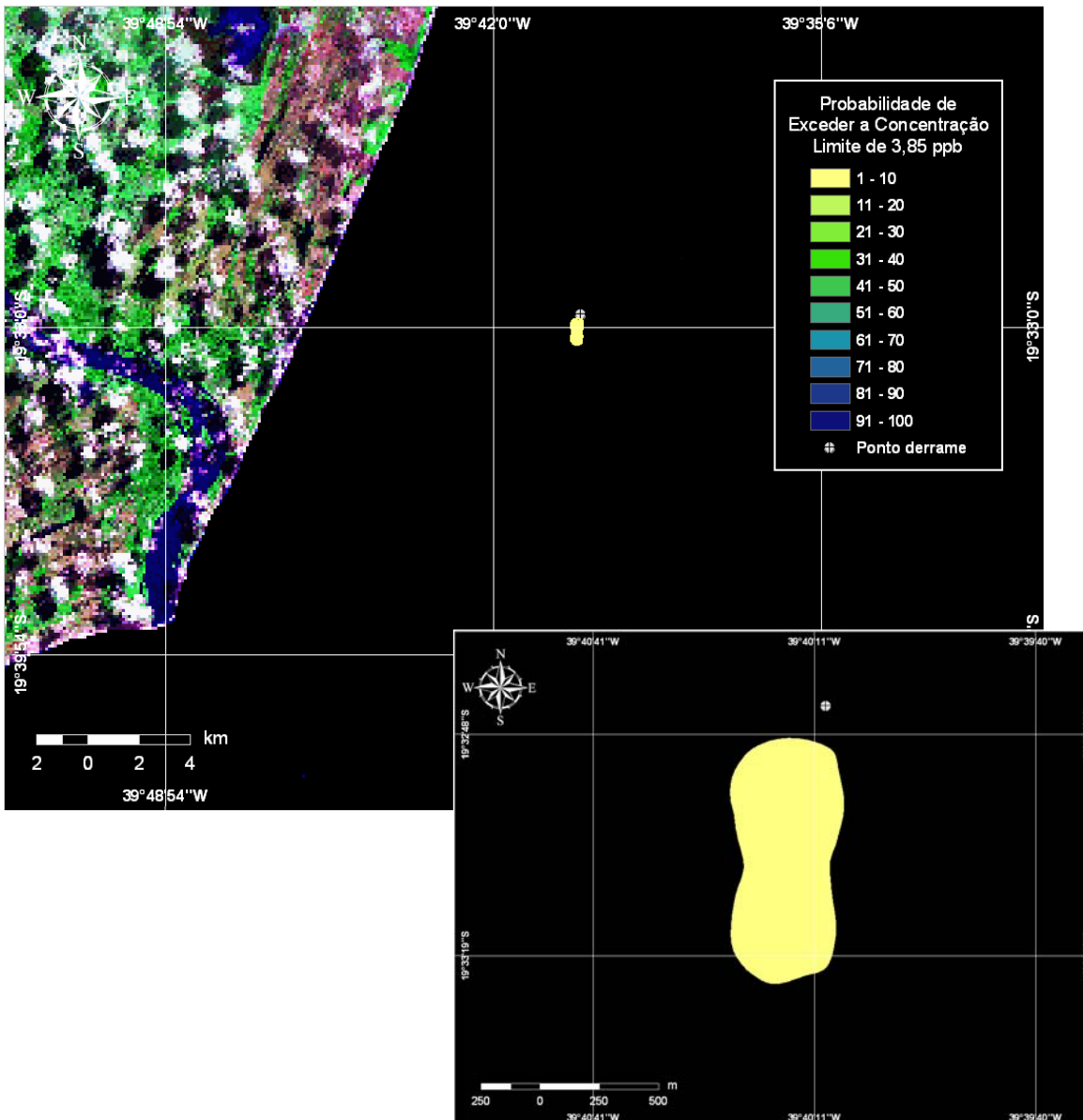
Segundo a Resolução CONAMA nº 357/05 (Brasil, 2005), não existe um limite para o lançamento de *n*-alcanos em corpos d'água. Dessa forma, o critério ambiental adotado nas simulações no que se refere às concentrações dissolvidas na coluna d'água foi baseado em French McCay (2002), que estabelece um valor médio de toxicidade (LC50) para o hexano em 385 ppb. No caso das manchas presentes na superfície da água, não foi adotado nenhum critério ambiental.

Como todas as concentrações dissolvidas na coluna d'água calculadas ficaram abaixo do critério adotado, com o objetivo de dar suporte e orientar o desenvolvimento de possíveis trabalhos de monitoramento ambiental na área do empreendimento, são apresentados neste relatório os resultados da mancha de condensado com concentrações dissolvidas na coluna d'água até 100 vezes inferiores ao valor adotado, ou seja, aproximadamente 3,85 ppb. Ressalta-se que, com este corte, a concentração limite de apresentação dos resultados da parcela líquida apresenta a mesma ordem de grandeza da concentração limite utilizada para a parcela gasosa. No caso das manchas presentes na superfície da água são apresentados os resultados até o contorno de  $0 \text{ g/m}^2$ .

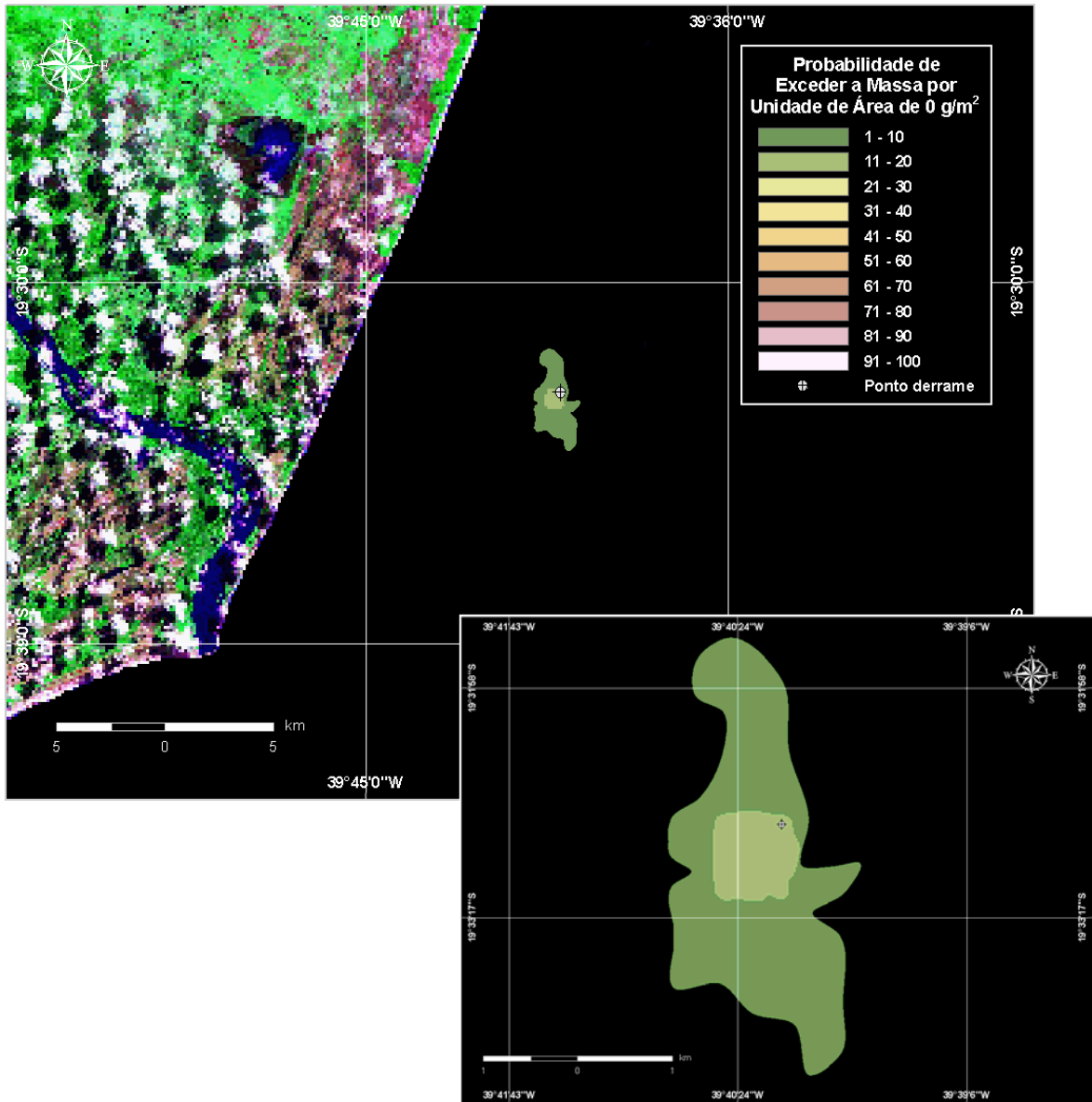
Nas figuras VI.2.1-1 a VI.2.1-13 são apresentados os resultados da parcela líquida dos cenários de vazamento de condensado a partir do Gasoduto do Campo de Camarupim, ocorrendo durante os meses de verão e inverno. Essas figuras mostram os contornos de probabilidade da presença de condensado na superfície e na coluna d'água para todos os cenários simulados ao longo de 24 horas (verão) e 12 horas (inverno). Tanto no verão quanto no inverno, após 3 horas não existe mais condensado na superfície, portanto, não são apresentadas as probabilidades de condensado da superfície para os tempos maiores que 6 horas. Para os contornos de probabilidade de condensado na superfície da água, não foi utilizado nenhum corte na apresentação dos resultados, ou seja, foram considerados todos os valores até  $0 \text{ g/m}^2$ . Já os contornos de probabilidade de condensado dissolvido da coluna d'água são referentes ao corte de 3,85 ppb, ou seja, a probabilidade é calculada em função da concentração limite de 3,85 ppb de *n*-alcanos dissolvidos na coluna d'água.



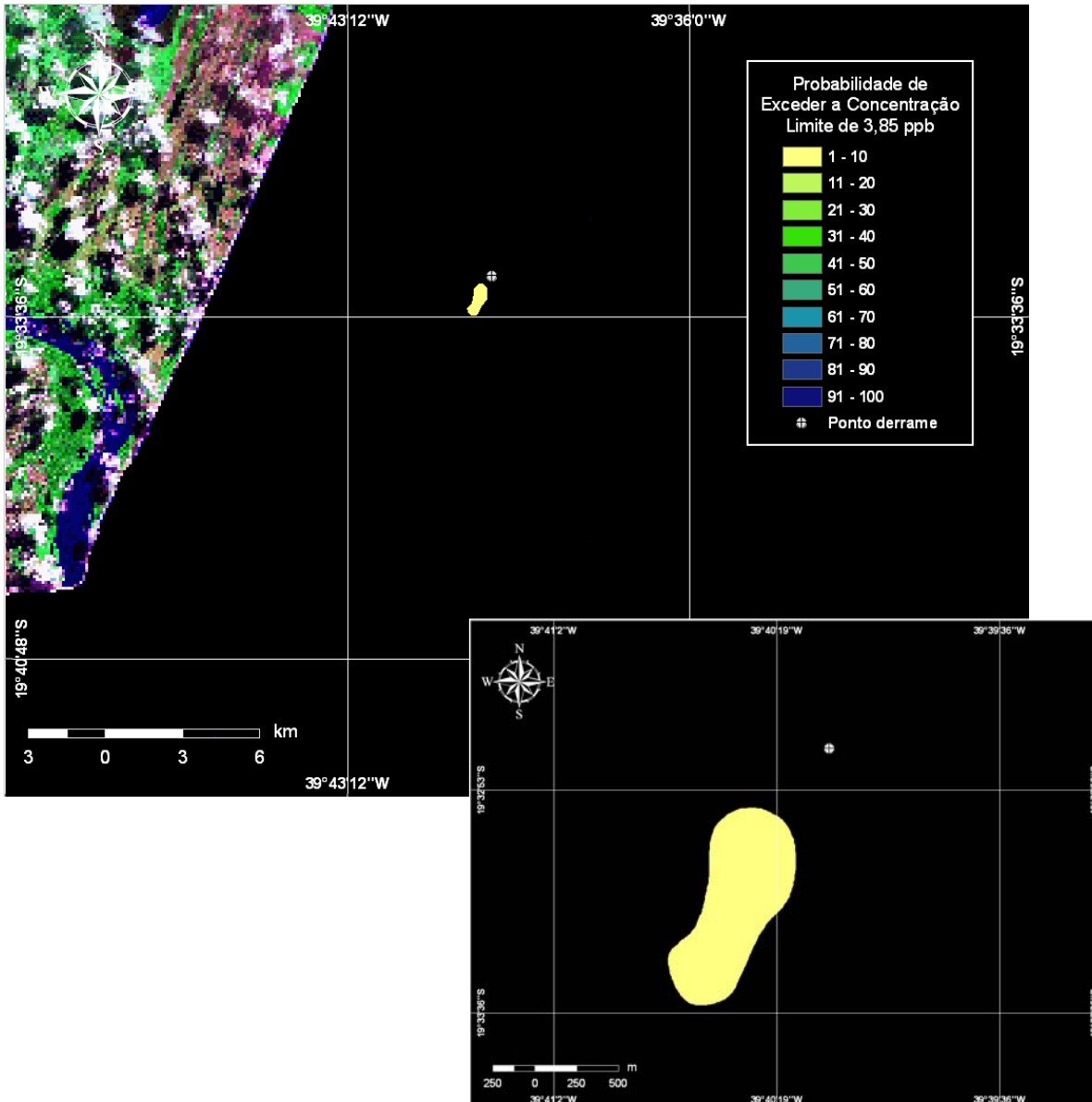
**Figura VI.2.1-1** - Cenário CAM\_COND\_VER\_62\_1H. Contornos de probabilidade de condensado na superfície d'água para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de  $62,62 \text{ m}^3$  após 1 hora.



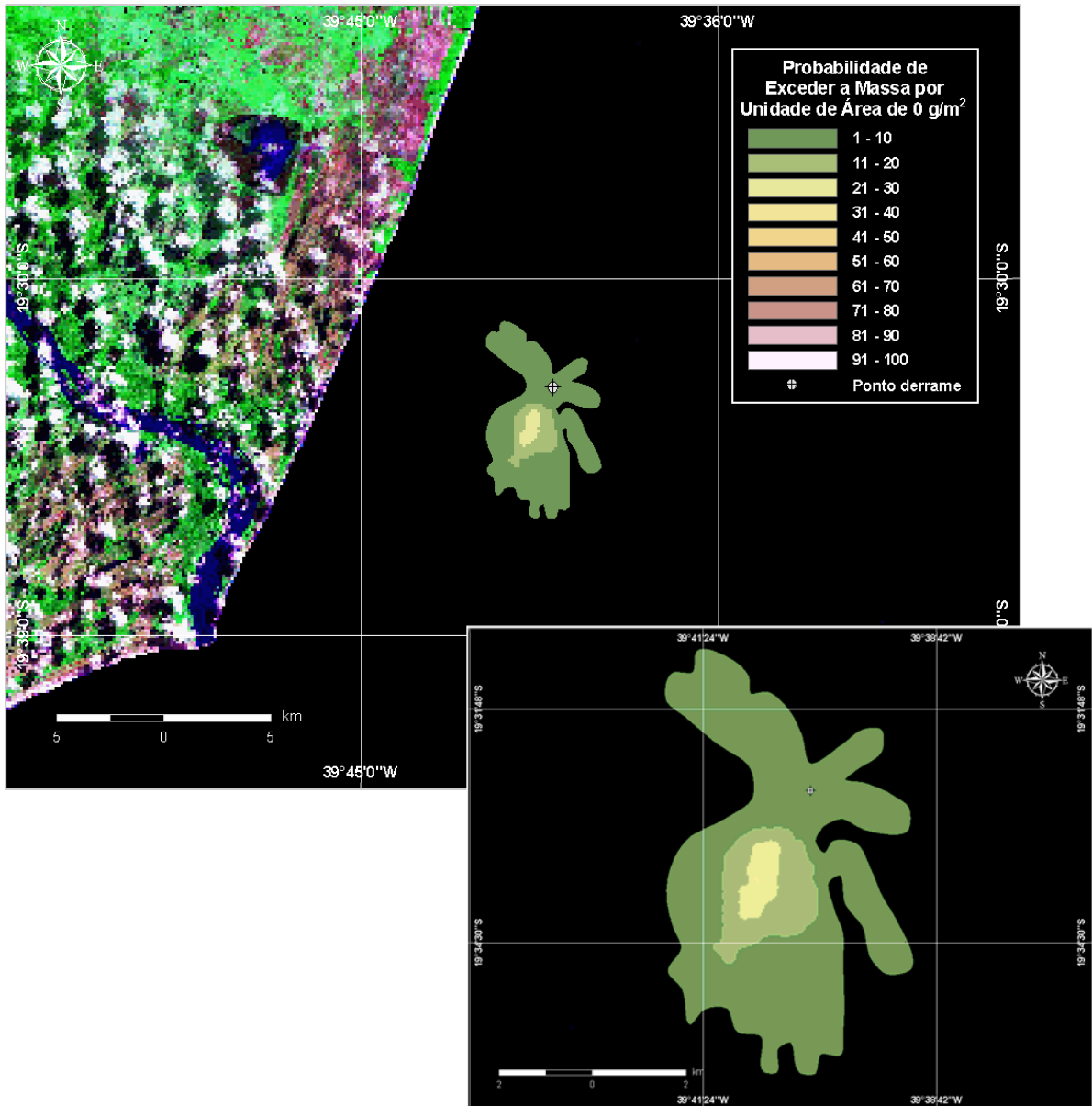
**Figura VI.2.1-2** - Cenário CAM\_COND\_VER\_62\_1H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 3,85 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 62,62 m<sup>3</sup> após 1 hora.



**Figura VI.2.1-3** - Cenário CAM\_COND\_INV\_62\_1H. Contornos de probabilidade de condensado na superfície d'água para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 62,62 m<sup>3</sup> após 1 hora.

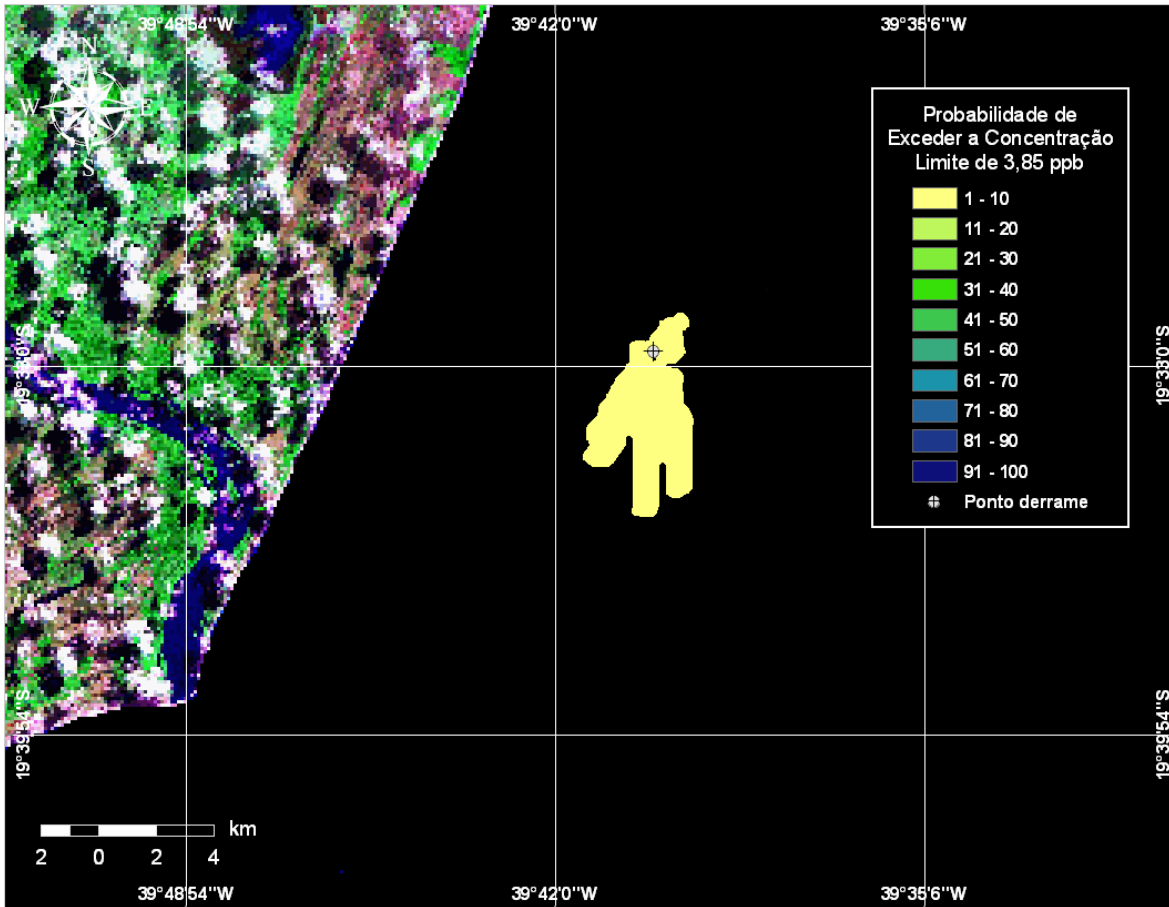


**Figura VI.2.1-4** - Cenário CAM\_COND\_INV\_62\_1H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 3,85 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 62,62 m<sup>3</sup> após 1 hora.

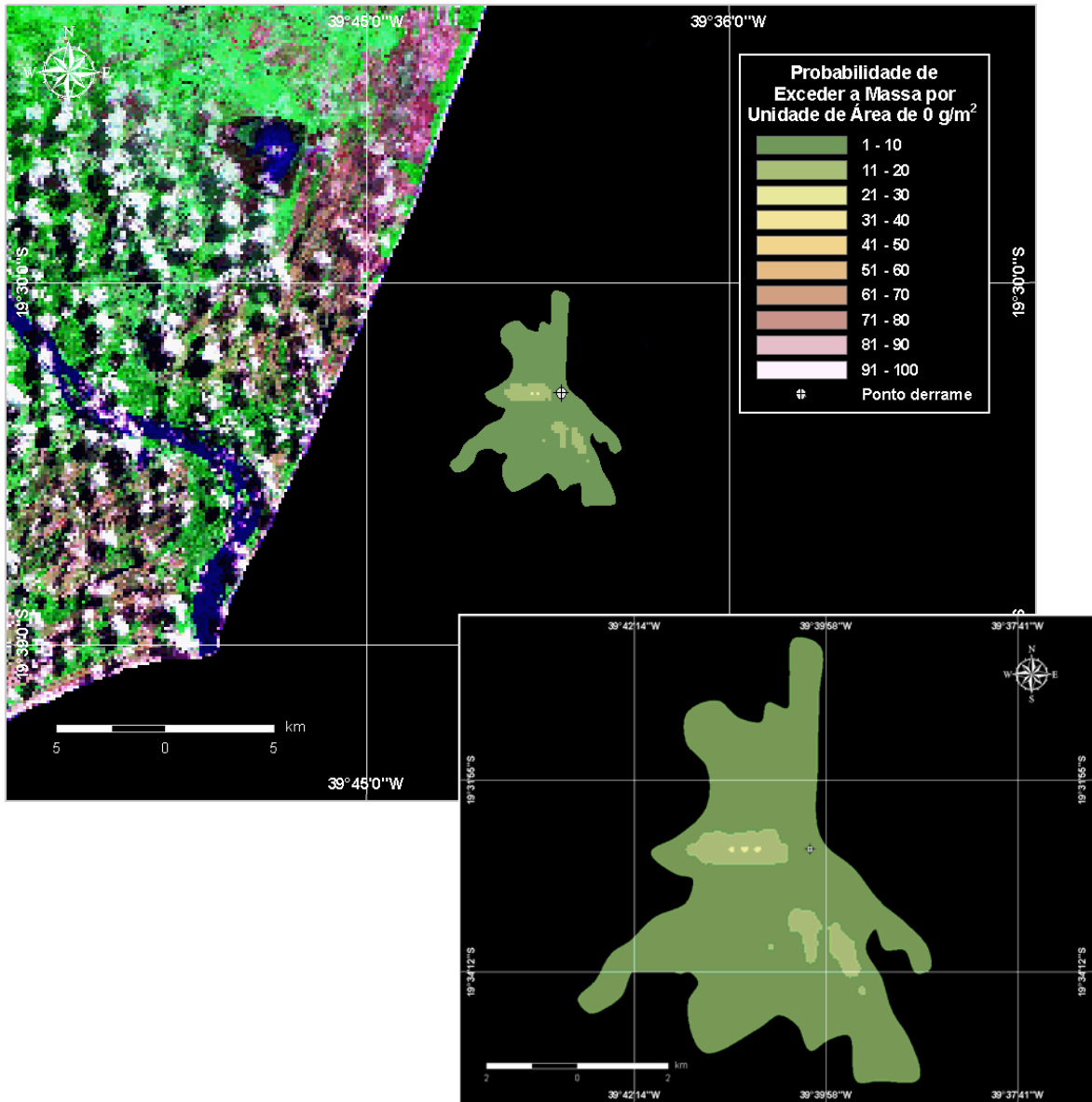


**Figura VI.2.1-5** - Cenário CAM\_COND\_VER\_62\_6H. Contornos de probabilidade de condensado na superfície d'água para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 62,62 m<sup>3</sup> após 6 horas.

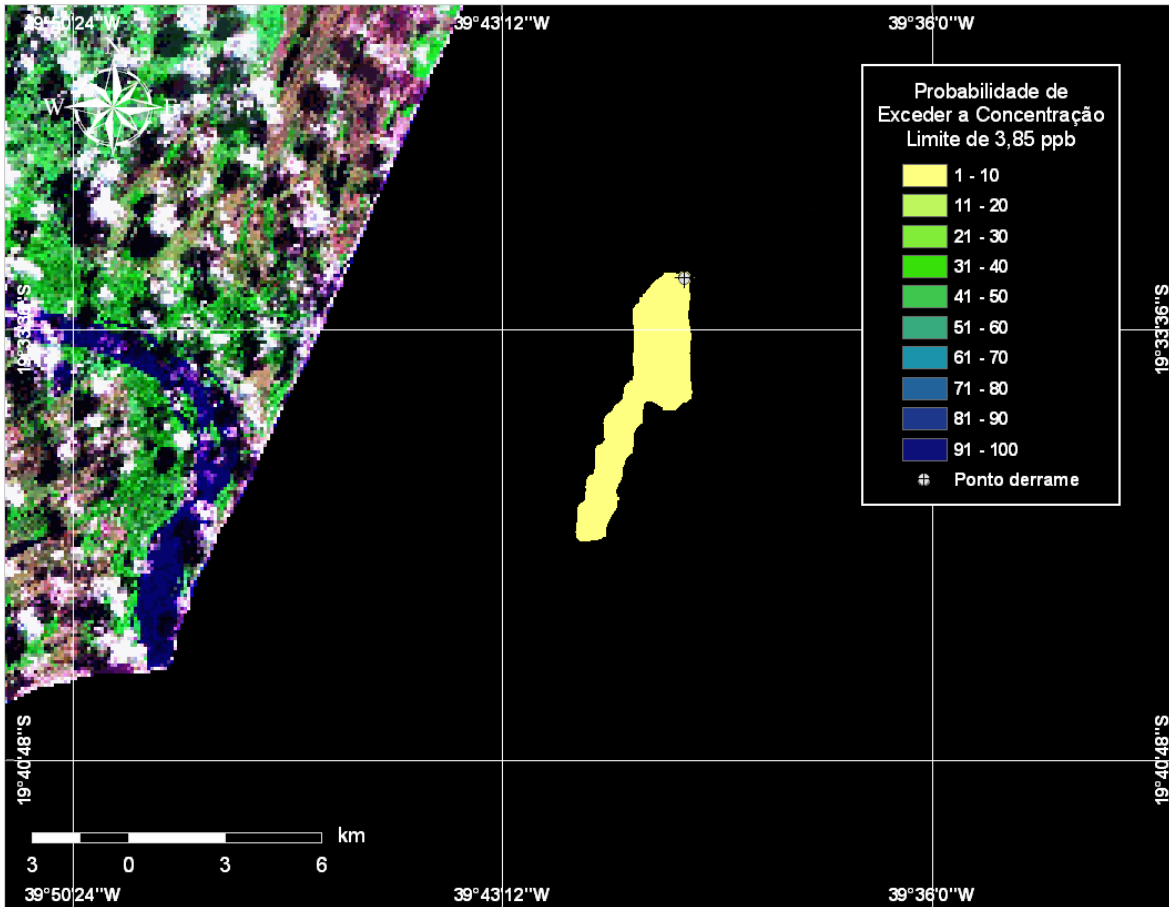




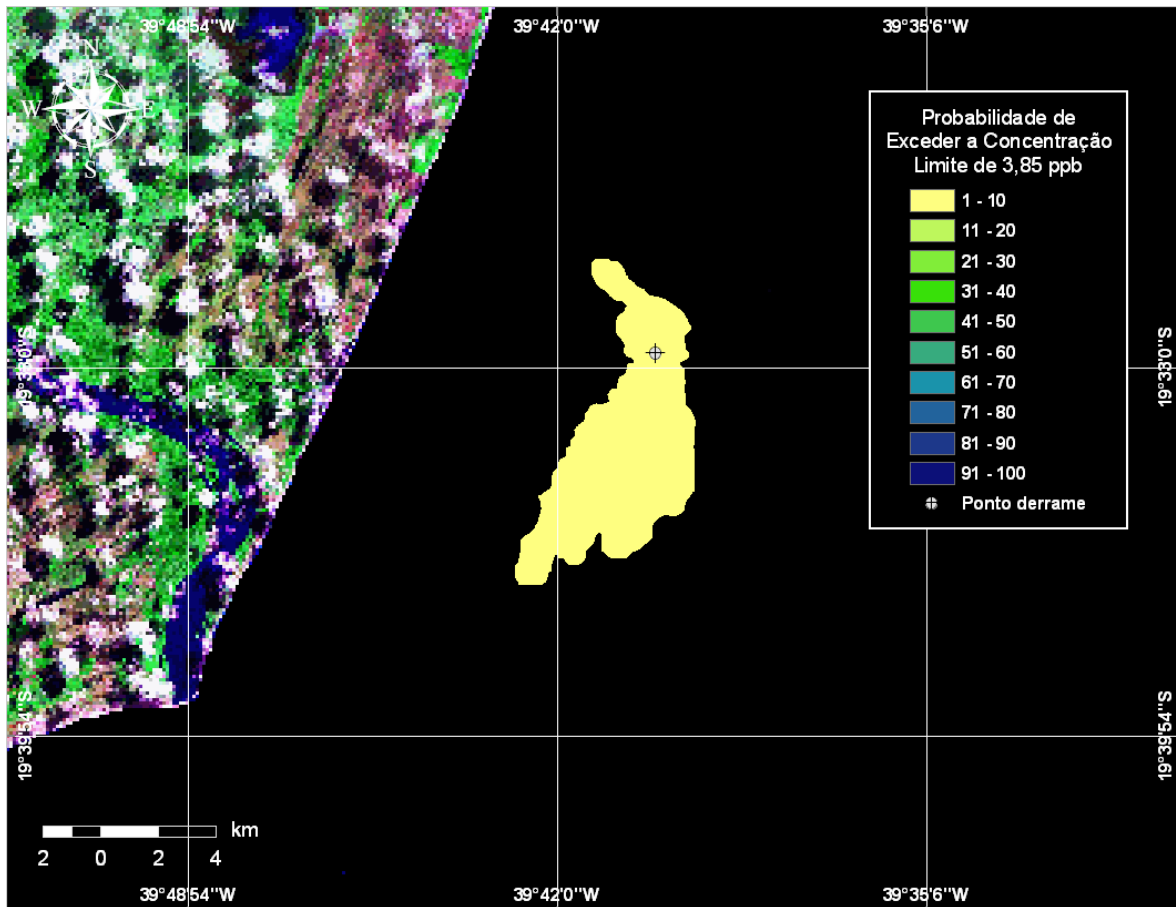
**Figura VI.2.1-6** - Cenário CAM\_COND\_VER\_62\_6H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 3,85 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 62,62 m<sup>3</sup> após 6 horas.



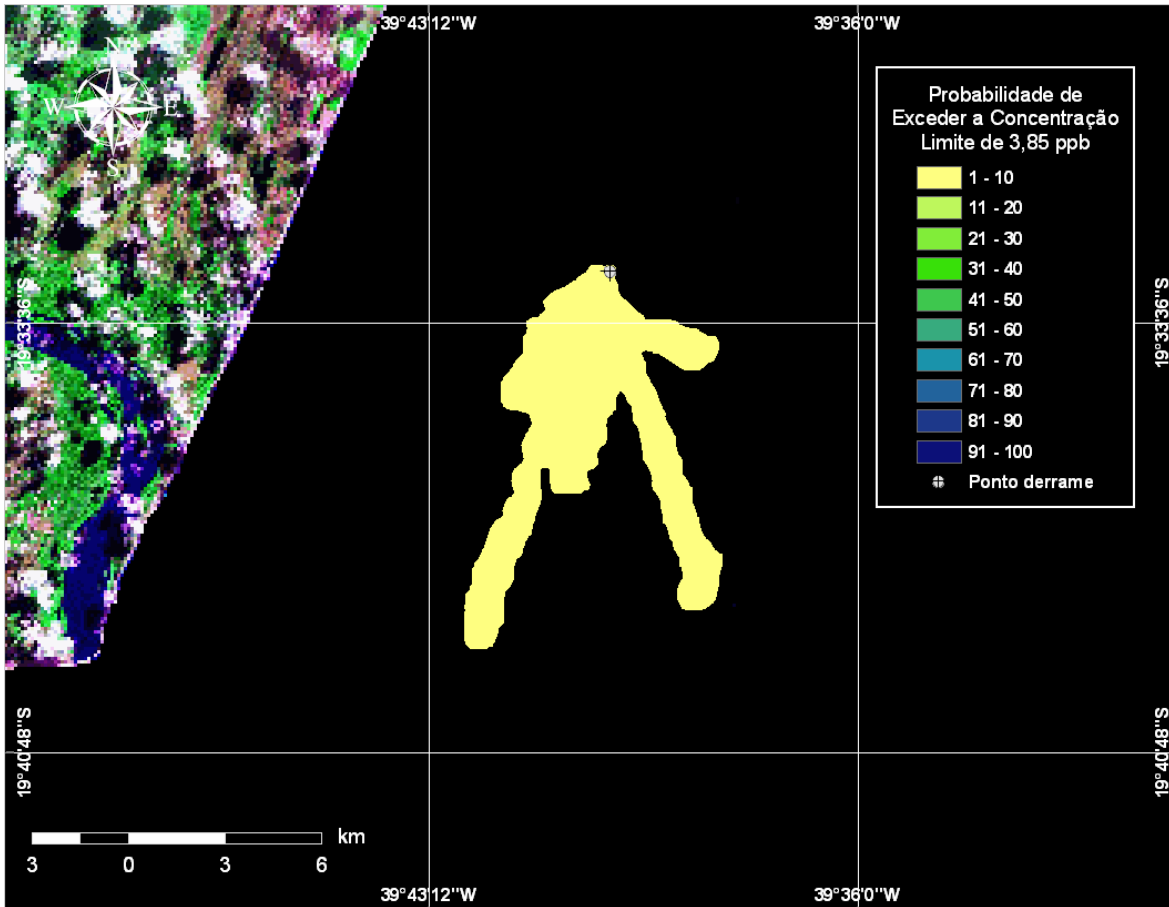
**Figura VI.2.1-7 -** Cenário CAM\_COND\_INV\_62\_6H. Contornos de probabilidade de condensado na superfície d'água para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 62,62 m<sup>3</sup> após 6 horas.



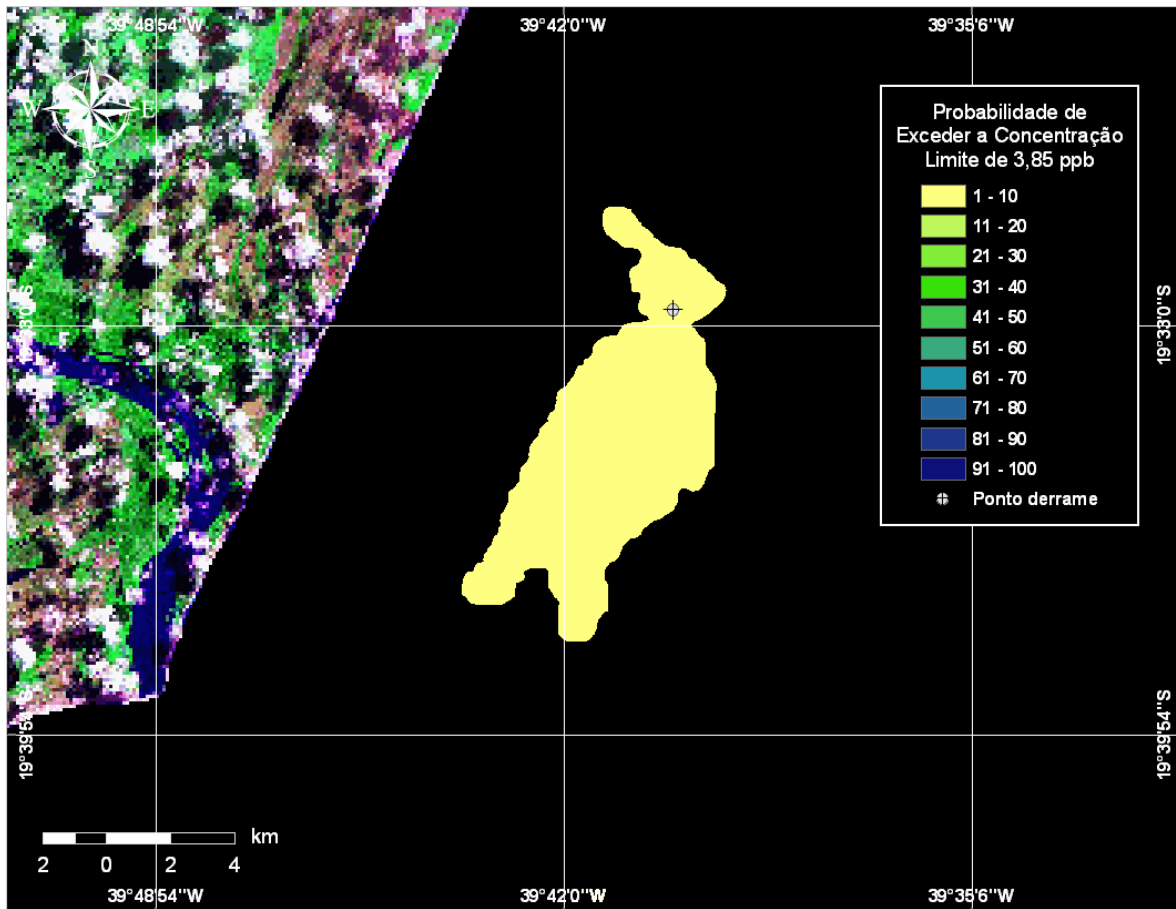
**Figura VI.2.1-8** - Cenário CAM\_COND\_INV\_62\_6H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 3,85 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 62,62 m<sup>3</sup> após 6 horas.



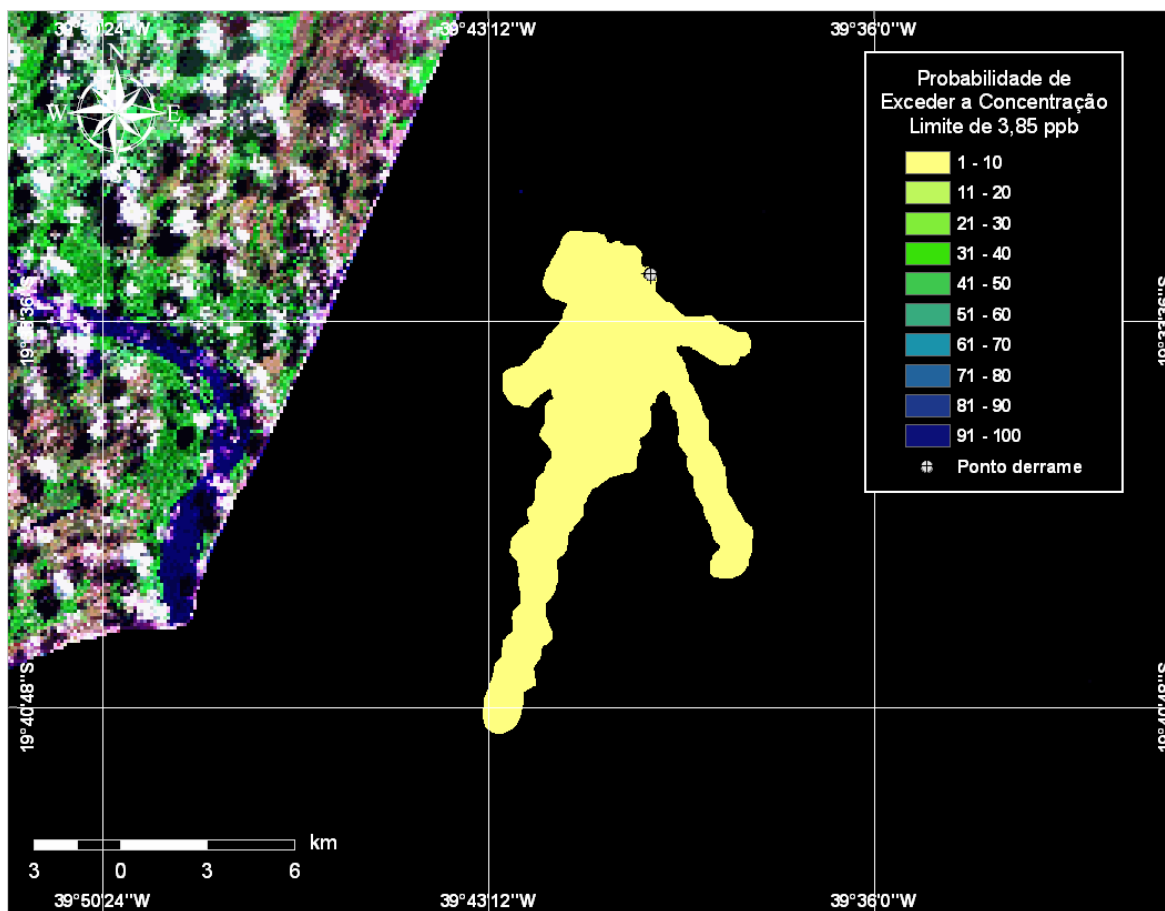
**Figura VI.2.1-9** - Cenário CAM\_COND\_VER\_62\_9H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 3,85 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 62,62 m<sup>3</sup> após 9 horas.



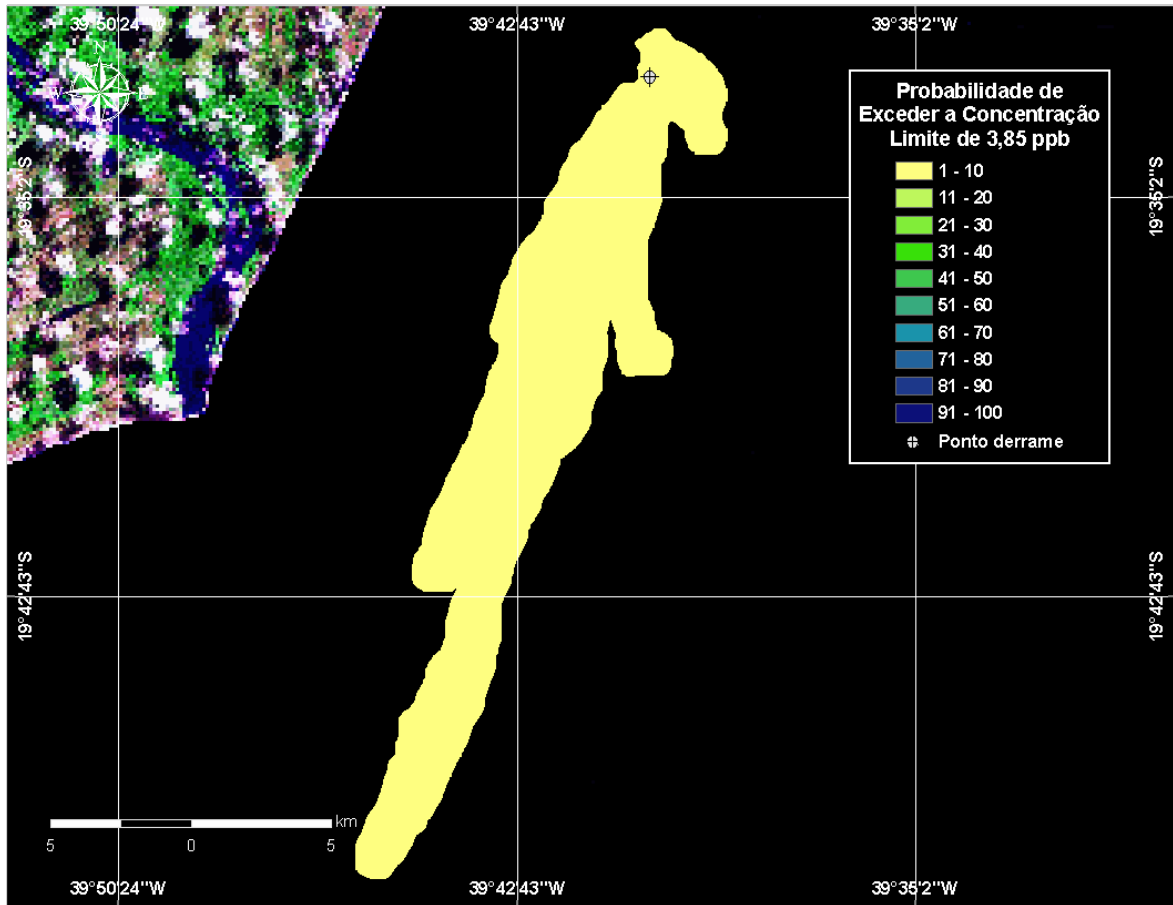
**Figura VI.2.1-10** - Cenário CAM\_COND\_INV\_62\_9H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 3,85 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 62,62 m<sup>3</sup> após 9 horas.



**Figura VI.2.1-11** - Cenário CAM\_COND\_VER\_62\_12H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 3,85 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 62,62 m<sup>3</sup> após 12 horas.



**Figura VI.2.1-12** - Cenário CAM\_COND\_INV\_62\_12H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 3,85 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 62,62 m<sup>3</sup> após 12 horas.

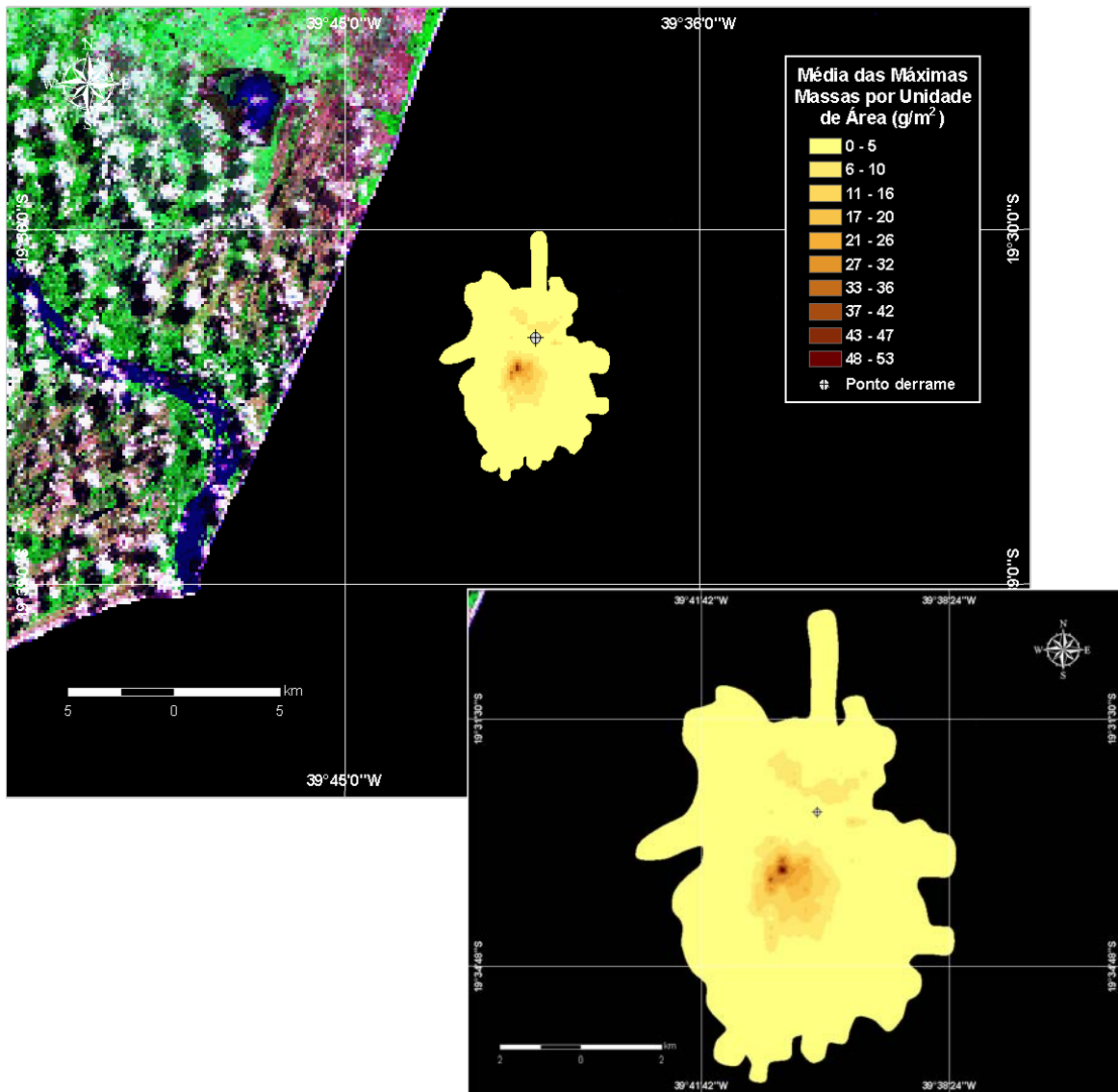


**Figura VI.2.1-13** - Cenário CAM\_COND\_VER\_62\_24H. Contornos de probabilidade de condensado na coluna d'água (acima do corte de 3,85 ppb) para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 62,62 m<sup>3</sup> após 24 horas.

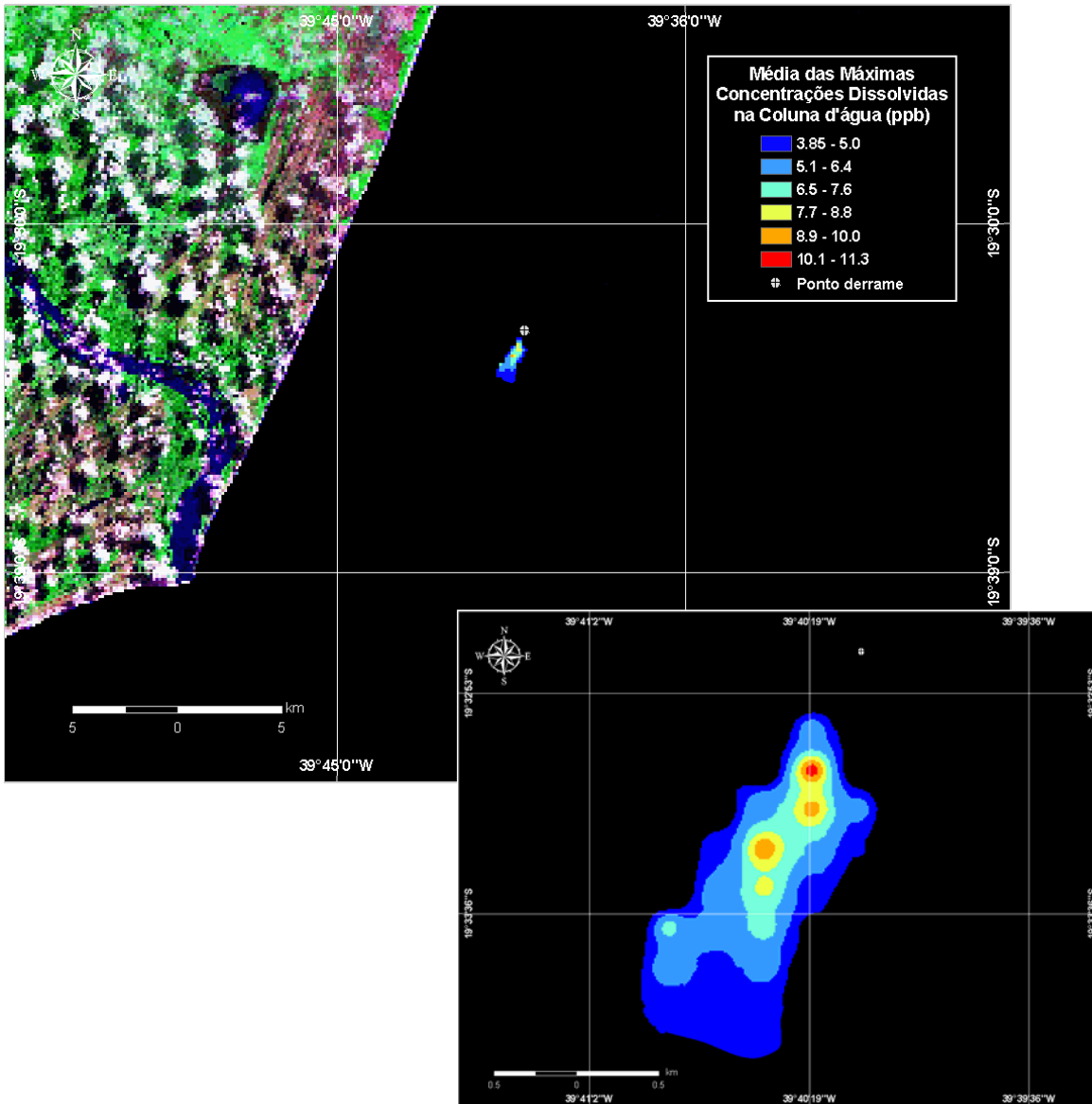


Nas simulações probabilísticas, as múltiplas trajetórias das plumas também foram utilizadas para a produção de curvas de contorno para as médias das máximas massas por unidade de área e média das máximas concentrações (na coluna d'água) esperadas de condensado em cada ponto de grade. Ou seja, ao final de cada uma das simulações, registra-se o máximo valor na superfície e na coluna d'água para cada ponto de grade, e ao final de todas as 50 simulações calcula-se a média de todas as máximas obtidas. Cabe ressaltar que a área ilustrada nas figuras representa a média das máximas massas por unidade de área e média das máximas concentrações na coluna d'água obtidas em todas as 50 simulações, e não corresponde à posição da mancha em um determinado instante de tempo.

As figuras VI.2.1-14 e VI.2.1-15 apresentam as curvas de contorno da mancha de condensado para as médias das máximas massas por unidade de área na superfície e médias das máximas concentrações na coluna d'água, calculadas ao longo de 24 horas de simulação no verão. O contorno das manchas de concentração na coluna d'água, apresentado nas figuras, estende-se até 3,85 ppb, correspondente à diluição de 100 vezes a concentração do critério ambiental adotado. No caso das manchas presentes na superfície da água são apresentados os resultados até o contorno de 0 g/m<sup>2</sup>. As maiores massas por unidade de área e concentrações calculadas foram de 52,6 g/m<sup>2</sup> e 10,7 ppb, respectivamente. Salienta-se que, em menos de 3 horas, não existe mais condensado na superfície da água.



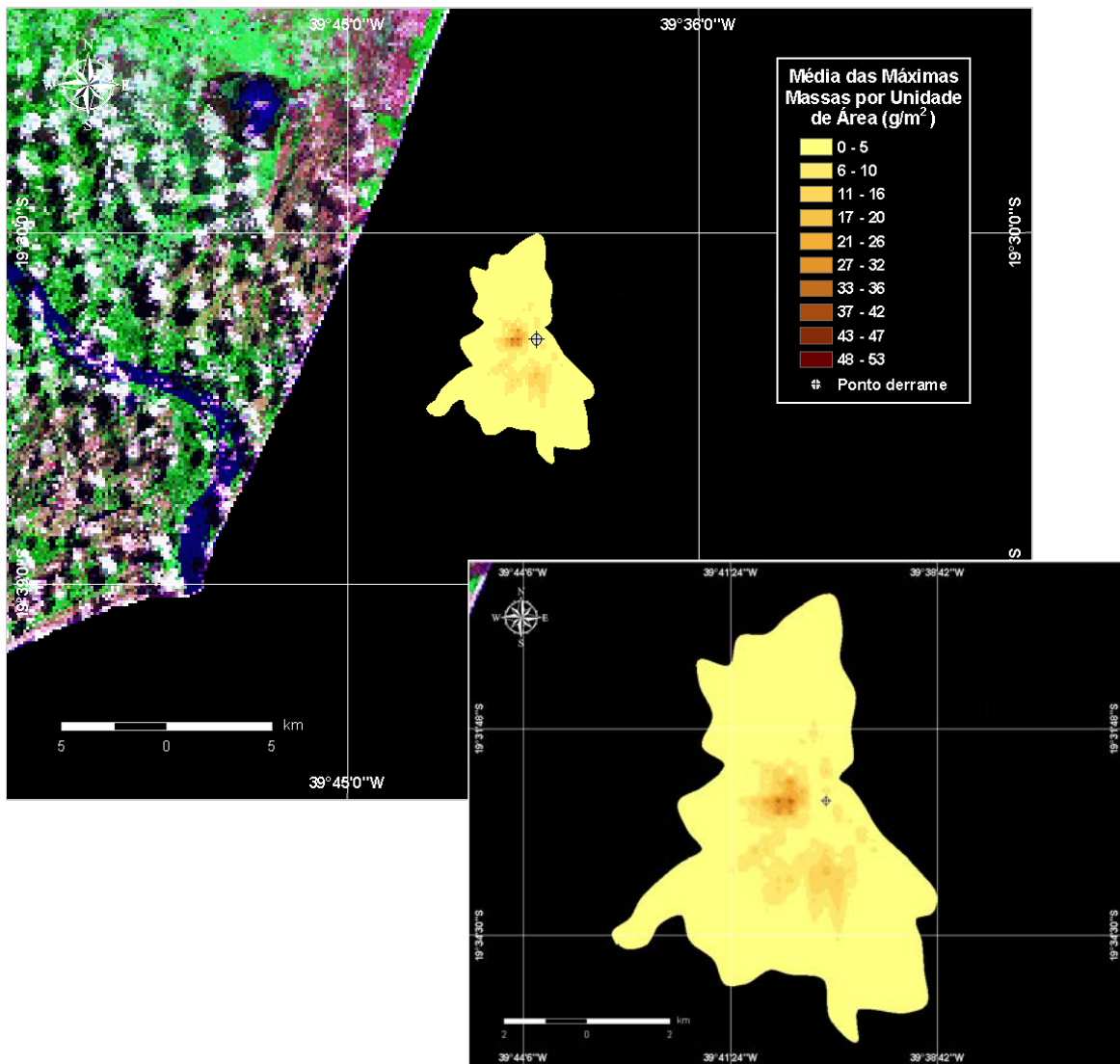
**Figura VI.2.1-14** - Cenário CAM\_COND\_VER\_62\_24H. Média das máximas massas por unidade de área ( $g/m^2$ ) de condensado na superfície d'água para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de  $62,62 m^3$ , ao longo de 24 horas.



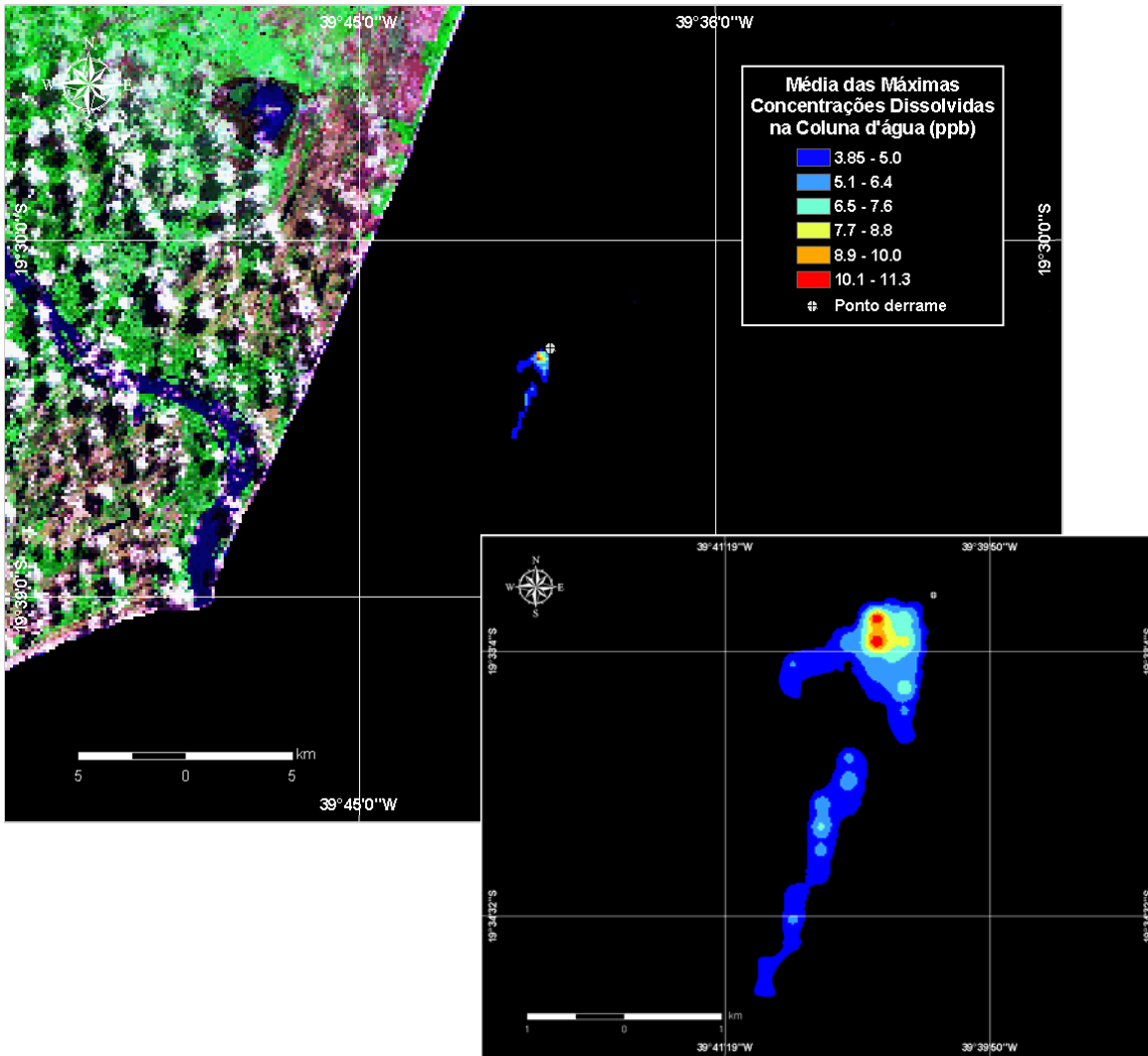
**Figura VI.2.1-15** - Cenário CAM\_COND\_VER\_62\_24H. Média das máximas concentrações (ppb) de condensado na coluna d'água para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 62,62 m<sup>3</sup>, ao longo de 24 horas.

As figuras VI.2.1-16 e VI.2.1-17 apresentam as curvas de contorno da mancha de condensado para as médias das máximas massas por unidade de área na superfície e médias das máximas concentrações na coluna d'água, calculadas ao longo de 12 horas de simulação no inverno. O contorno das manchas de concentração na coluna d'água, apresentado nas figuras, estende-se

até 3,85 ppb, correspondente à diluição de 100 vezes a concentração do critério ambiental adotado. No caso das manchas presentes na superfície da água são apresentados os resultados até o contorno de  $0 \text{ g/m}^2$ . As maiores massas por unidade de área e concentrações calculadas foram de,  $36,4 \text{ g/m}^2$  e 11,3 ppb, respectivamente. Salienta-se que em menos de 3 horas, não existe mais condensado na superfície da água.



**Figura VI.2.1-16** - Cenário CAM\_COND\_INV\_62\_12H. Média das máximas massas por unidade de área ( $\text{g/m}^2$ ) de condensado na superfície d'água para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de  $62,62 \text{ m}^3$ , ao longo de 12 horas.



**Figura VI.2.1-17** - Cenário CAM\_COND\_INV\_62\_12H. Média das máximas concentrações (ppb) de condensado na coluna d'água para um vazamento ocorrendo no Gasoduto do Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 62,62 m<sup>3</sup>, ao longo de 12 horas.

## VI.2.2 Simulações Determinísticas Críticas

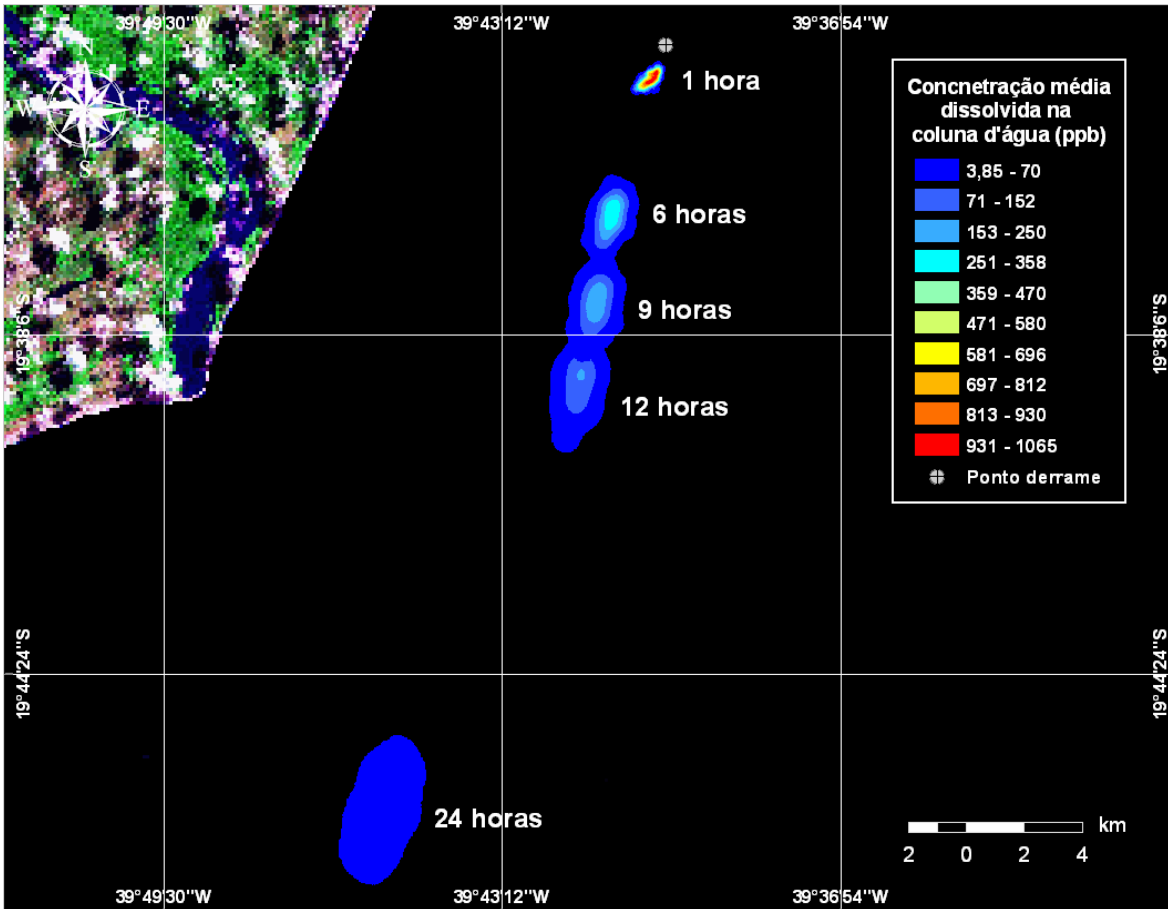
A análise dos resultados das simulações probabilísticas permitiu identificar os cenários determinísticos críticos de verão e inverno. Para essas simulações foram considerados como mais críticos os cenários que apresentaram as maiores concentrações de condensado dissolvido na coluna d'água. Em ambos os cenários foram considerados vazamentos de 62,62 m<sup>3</sup>, ao longo de 1 minuto, simulados por 24 horas no verão e 12 horas no inverno. A tabela VI.2.2-1 apresenta um resumo dos cenários críticos de verão e inverno obtidos para um acidente com vazamento no Gasoduto do Campo de Camarupim.

**Tabela VI.2.2-1** - Concentrações (ppb) de condensado dissolvido da coluna d'água ao longo de 24 horas de simulação, para os cenários determinísticos críticos de verão e de inverno.

TEMPO APÓS O DESCARTE (hora)	CONCENTRAÇÃO MÁXIMA (ppb)	
	VERÃO	INVERNO
1	1.065	305
6	356	122
9	242	94
12	163	63
24	42	—

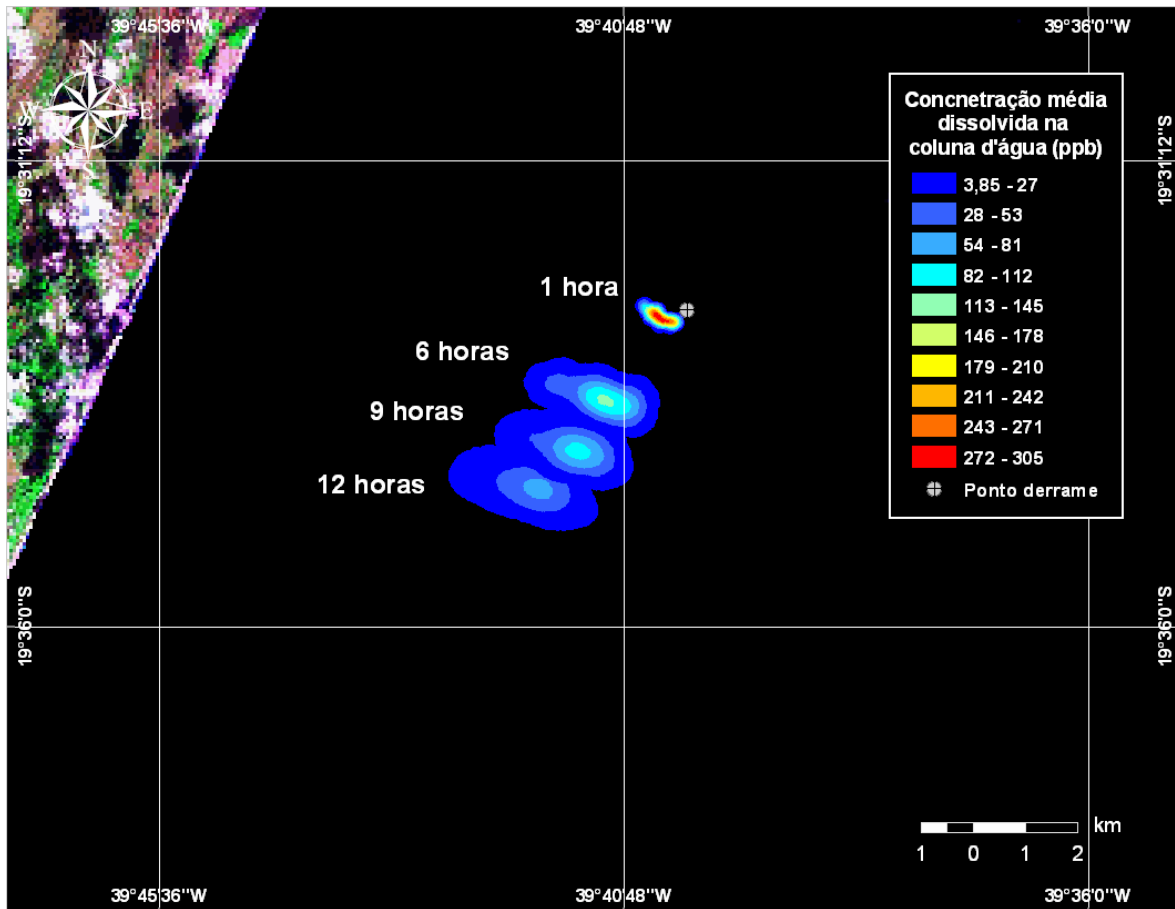
Na figura VI.2.2-1 são apresentados os contornos de concentração dos cenários críticos de verão, para o condensado derramado a partir do Gasoduto do Campo de Camarupim. Nesta, observa-se as concentrações dissolvidas na coluna d'água relativas aos tempos de 1, 6, 9, 12 e 24 horas após o descarte.

Na figura VI.2.2-2 são apresentados os contornos de concentração dos cenários críticos de inverno, para o condensado derramado a partir do Gasoduto do Campo de Camarupim. Nesta, observa-se as concentrações dissolvidas na coluna d'água relativas aos tempos de 1, 6, 9 e 12 horas após o descarte.



**Figura VI.2.2-1** - Cenário determinístico crítico para um vazamento de condensado ocorrido no Gasoduto do Campo de Camarupim, no período de verão (janeiro a março), após 24 horas.





**Figura VI.2.2-2** - Cenário determinístico crítico para um vazamento de condensado ocorrido no Gasoduto do Campo de Camarupim, no período de inverno (junho a agosto), após 12 horas.

Ressalta-se que, conforme os balanços de massa apresentados na figura V.1.4-5, no verão, na primeira hora do derrame, aproximadamente 35% da parcela líquida do condensado encontra-se na superfície d'água. Uma hora após o derrame, as concentrações apresentadas correspondem a, aproximadamente, 20% do volume derramado, diminuindo para menos de 10% em 24 horas. De forma semelhante, no inverno, aproximadamente 20% da parcela líquida do condensado encontra-se na superfície d'água na primeira hora. Três horas após o derrame, as concentrações apresentadas correspondem 20% do volume derramado, sofrendo evaporação de 90% em, aproximadamente, 12 horas de simulação. Nas figuras VI.2.2-1 e VI.2.2-2, acima, as concentrações apresentadas correspondem a menos de 20% do volume total derramado.



## VII CONCLUSÕES

A partir do melhor entendimento técnico-científico da dinâmica local, foi possível definir a área de influência das manchas provenientes de um vazamento de condensado no Gasoduto do Campo de Camarupim, composto principalmente por *n*-alcanos. Em operação normal, existe um equilíbrio entre as duas fases (líquida e gasosa) no interior do gasoduto, equilíbrio este, função da temperatura e da pressão internas. No momento do rompimento, este equilíbrio é deslocado, havendo passagem para o estado gasoso dos *n*-alcanos com número de carbonos entre 1 e 4, enquanto os *n*-alcanos com número de carbonos entre 5 e 20 permanecem no estado líquido. Assim, uma vez que o condensado é composto por duas parcelas principais que apresentam comportamentos distintos (uma parcela gasosa e outra líquida, à temperatura e pressão ambientes), as simulações foram divididas em: (a) parcela gasosa, correspondente a 93,98% do volume total e, (b) parcela líquida, correspondente a 2,43% do volume total. Salienta-se que, como os componentes com número de carbonos entre 10 e 20 representam menos de 1% do volume total, estes não foram considerados na modelagem.

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/05 (Brasil, 2005), não existe um limite para o lançamento de *n*-alcanos em corpos d'água. Dessa forma, o critério ambiental adotado nas simulações no que se refere às concentrações dissolvidas na coluna d'água foi baseado em French McCay (2002), que estabelece um valor médio de toxicidade (LC50) para o propano em 9.308,0 ppb (parcela gasosa) e para o hexano em 385,0 ppb (parcela líquida). No caso das manchas da parcela líquida na superfície da água, não foi adotado nenhum critério ambiental.

Como todas as concentrações dissolvidas na coluna d'água calculadas, de ambas as parcelas, ficaram abaixo destes critérios, com o objetivo de dar suporte e orientar o desenvolvimento de possíveis trabalhos de monitoramento ambiental na área do empreendimento, neste relatório são apresentados os resultados da mancha de condensado com concentrações até 1.000 vezes (parcela gasosa) e 100 vezes (parcela líquida) inferiores ao critério ambiental adotado. No caso das manchas presentes na superfície da água os resultados são apresentados até o contorno de 0 g/m<sup>2</sup>.

Com relação à parcela gasosa, os resultados mostraram que mais de 80% do volume total desta evapora em até 14 horas de simulação, sendo que a evaporação de 90% ocorre em um período aproximado de 45 horas no verão e 36 horas no inverno. Ao longo do período simulado, observa-se que menos de 30% do volume total derramado se dissolve na coluna d'água, diminuindo para menos de 10% em 45 horas. As maiores concentrações calculadas para a parcela gasosa foram de, aproximadamente, 768 ppb no verão e 430 ppb no inverno.

Com relação à parcela líquida do condensado, devido a sua densidade (menor que da água do mar), esta vai para a superfície, onde evapora e, devido a sua baixa solubilidade, apenas uma porcentagem se dissolve na coluna d'água. No verão, na primeira hora do derrame, aproximadamente 35% da parcela líquida do condensado encontra-se na superfície d'água. Uma hora após o derrame, as concentrações apresentadas correspondem a, aproximadamente, 20% do volume derramado, diminuindo para menos de 10% em 24 horas. De forma semelhante, no inverno, aproximadamente 20% da parcela líquida do condensado encontra-se na superfície d'água na primeira hora. Três horas após o derrame, as concentrações apresentadas correspondem 20% do volume derramado, sofrendo evaporação de 90% em, aproximadamente, 12 horas de simulação. As maiores massas por unidade de área (na superfície) calculadas para a parcela líquida foram de, aproximadamente, 52,6 g/m<sup>2</sup> no verão e 36,4 g/m<sup>2</sup> no inverno. No caso das concentrações dissolvidas na coluna d'água, estas foram de 10,7 ppb no verão e 11,3 ppb no inverno.

## VIII BIBLIOGRAFIA

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

BRASIL, 2005. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 18 mar. 2005.

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

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

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

CERC, 1984. Shore protection manual, Vol. I. Coastal Engineering Research Center, Department of the Army, Waterways Experiment Station, U.S. Army Corps of Engineers, Vicksburg, MS, p. 115-134 apêndices.

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

CSANADY, G.T., 1973. Turbulent diffusion in the environment. **D. Reidel Publishing Company**, Dordrecht, Holland, 74p.

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

ELLIOTT, A.J. 1986. Shear diffusion and the spread of oil in the surface layers of the North Sea. **Dt. Hydrog**:113-137.

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

FAY, J.A., 1971. Physical processes in the spread of oil on a water surface. p. 463-467 In: **Proceedings at Joint Conference and Control of Oil Spills**, Washington, D.C., June 15-17, 1971.

FRENCH, D., 2001. Chemical Spill Model (CHEMMAP) for Forecasts/Hindcasts and Environmental Risk Assessment. In: Proceedings of the 24th Arctic and Marine Oilspill (AMOP) Technical Seminar, Edmonton, Alberta, Canada, June 12-14, 2001, Environment Canada, pp.825-846.

FRENCH MCCAY, D.P. 2002. Development and Application of an Oil Toxicity and Exposure Model, OilToxEx. *Environmental Toxicology and Chemistry* 21(10): p. 2080-2094.

FRENCH, D., M. REED, K. JAYKO, S. FENG, H.M. RINES, S. PAVIGNANO, T. ISAJI, S. PUCKETT, A. KELLER, F.W. FRENCH III, D. GIFFORD, J. MCCUE, G. BROWN, E. MACDONALD, J. QUIRK, S. NATZKE, R. BISHOP, M. WELSH, M. PHILLIPS & B.S. INGRAM, 1996a. The CERCLA type A natural resource damage assessment model for coastal and marine environments (NRDAM/CME), Technical Documentation, Vol.I - V. Final Report, submitted to the Office of Environmental Policy and Compliance, U.S. Dept. of the Interior, Washington, DC, April, 1996, Contract No. 14-0001-91-C-11.

FRENCH, D.P., H.M. RINES, T. OPISHINSKI & J. MCCUE, 1996b. Validation and Sensitivity Analysis: The CERCLA Type A Natural Resource Damage Assessment Models for Coastal and Marine Environments (NRDAM/CME) and for the Great Lakes Environments (NRDAM/GLE) Final Report, Submitted to the Office of Environmental Policy and Compliance, U.S. Dept. of the Interior, Washington, DC, April, 1996. Contract No. 14-01-0001-91-C-11.

FRENCH, D., H. SCHUTTENBERG, & T. ISAJI, 1999. Probabilities of oil exceeding thresholds of concern: examples from an evaluation for Florida Power and Light. In: **Proceedings: AMOP 99 Technical Seminar**, June 2-4, 1999, Calgary, Alberta, Canada, pp. 243-270.

FRENCH, D., N. WHITTIER, M. WARD, & C. SANTOS, 2002. Spill Hazard Evaluation for Chemicals Shipped in Bulk Using Modeling. In: **Proceedings, Sixth International Marine Environmental Seminar**, Trondheim, Norway, September 2-4, 2002

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

GIFFORD, F.A., 1961. **Nuclear Safety** 2:47.

HESS, K.W. & K.T. BOSLEY, 1992. Methodology for Validation of a Tampa Bay Circulation Model. **Proceedings, 2nd International Conference on Estuarine and Coastal Modeling**, Tampa, Florida, November 11-13, 1991. p. 83-94.

HINES, A.L. & R.N. MADDOX, 1985. Mass transfer fundamentals and application, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 542p.

HOLTON, J.R., 1979. An Introduction to Dynamic Meteorology. **International Geophysics Series**, Vol 23, Academic Press NY.

HOULT, D. P., 1972. Oil spreading on the sea. **Ann. Rev. Fluid Mech.**, p.341-368.

KAWAMURA, P. & D. MACKAY, 1987. The evaporation of volatile liquids. **J Hazardous Materials**, 15:343-364.

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.

LEHR, W., 1996. Progress in Oil Spread Modeling, in Proceedings of the 19th Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP) Technical Seminar, Environment Canada, pp. 889-894.

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

LYMAN, C.J., W.F. REEHL, & D.H. ROSENBLATT, 1982. Handbook of Chemical Property Estimation Methods. McGraw-Hill Book Co., New York, 960p.

MACKAY, D. & R.S. MATSUGU, 1973. Evaporation rates of liquid hydrocarbon spills on land and water. The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 51, pp. 434-439.

MACKAY, D. & P.J. LEINONEN, 1977. Mathematical model of the behavior of oil spills on water with natural and chemical dispersion. Prepared for Fisheries and Environment Canada. Economic and Technical Review Report EPS-3-EC-77-19, 39p.

MACKAY, D., S. PATERSON & K. TRUDEL, 1980. A Mathematical Model Of Oil Spill Behavior. Department of Chemical and Applied Chemistry, University of Toronto, Canada

MACKAY, D., W.Y. SHIU, & K.C. MA, 1992. **Illustrated Handbook of Physical-Chemical Properties and Environmental Fate for Organic Chemicals**, Vol. I-IV. Lewis Publ., Chelsea, Michigan.

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

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

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

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

SIGNORINI, S.S., 1978. On the Circulation and volume transport of the Brazil Current between Cape of São Tomé and Guanabara Bay. **Deep Sea Res.**, 25, p. 481-490.3.

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

THIBODEAUX, L.J. 1979. **Chemodynamics: Environmental Movement of Chemicals in Air, Water, and Soil**. John Wiley & Sons, NY 501p.

THORPE S. A., 1984. On the determination of  $K_v$  in the near surface ocean from acoustic measurements of bubbles. **American Meteorological Society**, pp. 861-863.

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

TURNER, D.B. 1970. Workbook of atmospheric dispersion estimates. Report PB-191 482. Research Triangle Park, North Carolina: Office of Air Programs, U.S. Environmental Protection Agency.

---

YOUSSEF, M., 1993. The behavior of the near ocean surface under the combined action of waves and currents in shallow water. PhD Dissertation, Department of Ocean Engineering, University of Rhode Island, Narragansett, RI.

YOUSSEF, M. & M.L. SPAULDING, 1993. Drift current under the action of wind waves. In: **Proceedings of the 16th Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar**, Calgary, Alberta, Canada, pp. 587-615.

## **IX EQUIPE TÉCNICA**

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

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

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

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

<b>Profissional</b>	Erika Naomi de Souza Tominaga
<b>Empresa</b>	ASA Consultoria Ltda
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	980855
<b>Responsável pela(s) Capítulo (s)</b>	VI
<b>Assinatura</b>	_____

<b>Profissional</b>	Gabriel Clauzet
<b>Empresa</b>	ASA Consultoria Ltda
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	1031373
<b>Responsável pela(s) Capítulo (s)</b>	I, II e III
<b>Assinatura</b>	_____

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

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

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

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

