

Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para o Bloco BM-J-1, Bacia de Jequitinhonha



UN-BA

Revisão 00
Mar/2010



PETROBRAS

Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para o Bloco BM-J-1, Bacia de Jequitinhonha

Revisão 00

Março / 2010



UN-BA

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

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

ASA (Applied Science Associates South America), 2010. Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para o Bloco BM-J-1, Bacia de Jequitinhonha. Relatório Técnico, Revisão 00 (março de 2010). 190pp+anexos.

ÍNDICE GERAL

RESUMO	1
I INTRODUÇÃO	I-1
I.1 ÁREA DE ESTUDO.....	I-2
I.1.1 CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS DA REGIÃO	I-3
I.1.2 CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS DA REGIÃO	I-7
II ANÁLISE DE DADOS.....	II-1
II.1 VENTOS	II-1
II.2 CORRENTES.....	II-7
II.3 MARÉS	II-13
III MODELAGEM HIDRODINÂMICA	III-1
III.1 PROCEDIMENTOS DE AQUECIMENTO (WARM UP) DO MODELO.....	III-1
III.2 DADOS DE ENTRADA	III-1
III.2.1 DADOS DE VENTO	III-1
III.2.2 ESTRUTURA TERMOHALINA.....	III-4
III.2.3 MARÉS	III-4
III.3 DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO	III-5
III.4 AVALIAÇÃO DO MODELO HIDRODINÂMICO.....	III-7
III.4.1 AVALIAÇÃO PARA O NÍVEL DO MAR	III-8
III.4.2 AVALIAÇÃO PARA AS CORRENTES	III-9
III.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A MODELAGEM HIDRODINAMICA	III-29
IV MODELAGEM DE DERRAME DE ÓLEO	IV-1
IV.1 DADOS DE ENTRADA	IV-1
IV.1.1 CAMPOS DE CORRENTES	IV-1
IV.1.2 DADOS DE VENTO	IV-3
IV.1.3 PONTO DE RISCO E VOLUMES	IV-9
IV.1.4 CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS UTILIZADOS.....	IV-10
IV.2 CRITÉRIO DE PARADA ADOTADO NAS SIMULAÇÕES	IV-11
IV.3 RESUMO DOS CENÁRIOS SIMULADOS	IV-12

V	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DE DERRAME DE ÓLEO	V-1
V.1	SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS	V-1
V.1.1	SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS PARA OS DERRAMES COM VOLUME PEQUENO	V-3
V.1.2	SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS PARA OS DERRAMES COM VOLUME MÉDIO	V-22
V.1.3	SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS PARA OS DERRAMES COM VOLUME DE PIOR CASO	V-42
V.2	SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS CRÍTICAS	V-63
V.2.1	SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS CRÍTICAS PARA OS DERRAMES COM VOLUME PEQUENO	V-64
V.2.2	SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS CRÍTICAS PARA OS DERRAMES COM VOLUME MÉDIO	V-69
V.2.3	SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS CRÍTICAS PARA OS DERRAMES COM VOLUME DE PIOR CASO	V-74
V.3	SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS MAIS CRÍTICAS	V-79
VI	CONSIDERAÇÕES FINAIS	VI-1
VII	BIBLIOGRAFIA	VII-1
VIII	EQUIPE TÉCNICA	VIII-1
ANEXO A	- DESCRIÇÃO DO PRINCETON OCEAN MODEL	1
A.1	EQUAÇÕES BÁSICAS DO POM	2
A.2	CONDIÇÕES DE CONTORNO ADOTADAS	5
A.3	BIBLIOGRAFIA	6
ANEXO B	- DESCRIÇÃO DO MODELO OILMAP	1
B.1	FORMULAÇÃO DO MODELO OILMAP	3
B.2	DADOS DE ENTRADA	16
B.3	BIBLIOGRAFIA	16

LISTA DE TABELAS

TABELA	PÁG.
Tabela II.1-1 - Localização dos pontos onde foram obtidas informações de vento.	II-2
Tabela II.2-1 - Localização e período de coleta dos dados de corrente.	II-7
Tabela IV.1.3-1 - Coordenadas geográficas (SAD 69) do ponto de risco considerado na modelagem de óleo.	IV-9
Tabela IV.1.4-1 - Tipos de óleo utilizado nas simulações.	IV-10
Tabela IV.1.4-2 - Características do óleo diesel marítimo utilizado nas simulações.	IV-11
Tabela IV.1.4-3 - Características do óleo cru tipo BAS-11 utilizado nas simulações.	IV-11
Tabela IV.3-1 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames de óleo para o Bloco BM-J-1, Bacia de Jequitinhonha.	IV-12
Tabela V.1-1 - Extensão da linha de costa com probabilidade de ser atingida a partir de derrames no Bloco BM-J-1, para todos os volumes de derrame, em condições de verão e inverno.	V-1
Tabela V.1-2 - Tempo mínimo de toque para o óleo atingir a costa a partir de derrames no Bloco BM-J-1, para todos os volumes de derrame, em condições de verão e inverno.	V-2
Tabela V.1.1-1 - Resumo dos resultados da modelagem probabilística com volume pequeno.	V-19
Tabela V.1.1-2 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo diesel marítimo nos períodos de verão e inverno, com derrame de volume pequeno.	V-20
Tabela V.1.1-3 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo tipo BAS-11 nos períodos de verão e inverno, com derrame de volume pequeno.	V-21
Tabela V.1.1-4 - Resumo do balanço de massa dos cenários probabilísticos com volume pequeno.	V-22
Tabela V.1.2-1 - Resumo dos resultados da modelagem probabilística com volume médio.	V-39
Tabela V.1.2-2 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo diesel marítimo nos períodos de verão e inverno, com derrame de volume médio.	V-40
Tabela V.1.2-3 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo tipo BAS-11 nos períodos de verão e inverno, com derrame de volume médio.	V-41

TABELA	PÁG.
Tabela V.1.2-4 - Resumo do balanço de massa dos cenários probabilísticos com volume médio.	V-42
Tabela V.1.3-1 - Resumo dos resultados da modelagem probabilística com volume de pior caso.	V-59
Tabela V.1.3-2 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo diesel marítimo nos períodos de verão e inverno, com derrame de volume de pior caso.	V-61
Tabela V.1.3-3 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo tipo BAS-11 nos períodos de verão e inverno, com derrame de volume de pior caso.	V-62
Tabela V.1.3-4 - Resumo do balanço de massa dos cenários probabilísticos com volume de pior caso.	V-63
Tabela V.2.1-1 - Resumo dos cenários determinísticos críticos de volume de derrame pequeno.	V-64
Tabela V.2.2-1 - Resumo dos cenários determinísticos críticos de volume de derrame médio.	V-69
Tabela V.2.3-1 - Resumo dos cenários determinísticos críticos de volume de derrame de pior caso.	V-74

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁG.
Figura I.1-1 - Localização do ponto de risco na região do Bloco BM-J-1, na Bacia de Jequitinhonha.	I-3
Figura I.1.1-1 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento NCEP no período de verão.	I-4
Figura I.1.1-2 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento NCEP no período de inverno.	I-5
Figura I.1.1-3 - Intensidade média mensal, mínimas e máximas do vento para o período de 1979 a 2008.	I-6
Figura I.1.2-1 - Média climatológica da velocidade baroclínica calculada pelo OCCAM.	I-8
Figura I.1.2-2 - Transporte médio ao longo da costa, baseado na distribuição de correntes obtidas nas 5 estações amostradas de 2000 a 2004 - 11°S (Schott <i>et al.</i> , 2005).	I-9
Figura I.1.2-3 - Série temporal do perfil de corrente nos primeiros 300 metros da coluna d'água, obtido a partir de dados com ADCP invertido no ponto do fundeio K2 (Schott & Molinari, 2002).	I-10
Figura II.1-1 - Dados de vento INFRAERO e NCEP para o litoral da Bahia e Sergipe.	II-1
Figura II.1-2 - Diagramas <i>stick plot</i> dos dados de vento da INFRAERO e NCEP/NCAR no litoral da Bahia e Sergipe, durante o ano de 2003 (convenção vetorial).	II-3
Figura II.1-3 - Diagramas <i>stick plot</i> dos dados de vento da INFRAERO e NCEP/NCAR no litoral da Bahia e Sergipe, durante o ano de 2004 (convenção vetorial).	II-4
Figura II.1-4 - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos de Reanálise do NCEP para o dia 1º de junho de 2003, às 18GMT.	II-5
Figura II.1-5 - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos de Reanálise do NCEP para o dia 15 de junho de 2003, às 18GMT.	II-6
Figura II.1-6 - Campos de vento e pressão atmosférica obtidos de Reanálise do NCEP para o dia 2 de janeiro de 2003, às 18GMT.	II-7
Figura II.2-1 - Histograma direcional dos vetores de corrente medidos nas coordenadas 13°35,7'S e 38°49,03'W, na superfície: (a) de 29 de dezembro de 2002 a 21 de janeiro de 2003 e (b) de 22 de maio a 26 de junho de 2003.	II-8
Figura II.2-2 - Comparação entre dados de corrente (painel superior) e vento (painel inferior), obtidos em região de plataforma, próximos a Camamu, em períodos de verão e inverno.	II-9

FIGURA	PÁG.
Figura II.2-3 - Variação das correntes superficiais na locação do BMJ-1 ao longo da amostragem, de 08/03 a 20/05 (adaptado de PETROBRAS, 2004).	II-11
Figura II.2-4 - Histograma direcional dos vetores de corrente medidos nas coordenadas 15°04'59,3"S e 38°43'50,6"W, na superfície, para o período de 8 a 25 de março de 2004.	II-12
Figura II.2-5 - Comparação entre dados de vento (painel superior) e corrente (painel inferior), obtidos em região de talude, próximo a Ilhéus, durante março de 2004.	II-13
Figura II.3-1 - Amplitude dos principais harmônicos de maré ao longo da costa da Bahia e Sergipe (fonte: FEMAR, 2000).	II-14
Figura II.3-2 - Amplitude (cm) e fase local (°) das principais componentes harmônicas para a estação maregráfica da FEMAR em Canavieiras (BA). Fonte: FEMAR (2000).	II-15
Figura II.3-3 - Série temporal da previsão de elevação do nível do mar, em intervalos horários, no período de 1 ^o a 31 de janeiro de 2004, para a estação Canavieiras (BA) – FEMAR.	II-16
Figura III.2.1-1 - Intensidade média mensal do vento para o período de 1979 a 2008 e para o ano de 2004.	III-2
Figura III.2.1-2 - Campo de vento NCEP projetado na grade do modelo hidrodinâmico.	III-3
Figura III.2.2-1 - Campos de temperatura e salinidade projetados na grade do modelo hidrodinâmico.	III-4
Figura III.2.3-1 - Mapa cotidal, com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude de maré, projetado na grade do modelo hidrodinâmico (escala de cores com espaçamento irregular).	III-5
Figura III.3-1 - Batimetria projetada no domínio considerado no modelo hidrodinâmico para as bacias de Camamu-Almada e Jequitinhonha.	III-6
Figura III.4.1-1 - Série temporal de previsão de maré (azul) e a elevação calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 3 de fevereiro a 19 de março de 2004 (verão).	III-9
Figura III.4.1-2 - Série temporal de previsão de maré (azul) e a elevação calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 3 a 20 de junho de 2004 (inverno).	III-9
Figura III.4.2-1 - Série temporal das componentes u e v e diagramas <i>stick plot</i> das velocidades medidas e calculadas pelo modelo entre os dias 6 e 31 de março de 2004 (verão).	III-10
Figura III.4.2-2 - Histogramas direcionais dos vetores de correntes (a) calculadas pelo modelo e (b) medidas, entre os dias 20 e 28 de março de 2004 (verão).	III-11

FIGURA	PÁG.
Figura III.4.2-3 - Série temporal das componentes u e v e diagramas <i>stick plot</i> das velocidades medidas e calculadas pelo modelo entre os dias 22 de maio a 28 de junho de 2003 (inverno).	III-12
Figura III.4.2-4 - Histogramas direcionais dos vetores de correntes (a) calculadas pelo modelo e (b) medidas, entre os dias 22 de maio a 21 de junho de 2003 (inverno).	III-14
Figura III.4.2-5 - Espectro de amplitudes da série temporal da corrente simulada pelo modelo no Bloco BM-J-1, entre 8 de março e 20 de maio de 2004.	III-15
Figura III.4.2-6 - Espectro de amplitudes da série temporal da corrente medida no Bloco BM-J-1, entre 8 de março e 20 de maio de 2004.	III-15
Figura III.4.2-7 - Instantâneo do campo de correntes na região do ponto de validação BMJ-1.	III-16
Figura III.4.2-8 - Séries temporais das componentes u e v das velocidades residuais dos dados (vermelho) e modelo (preto), de 1º de março a 31 de maio de 2004, no Bloco BM-J-1.	III-17
Figura III.4.2-9 - Histograma direcional dos vetores de corrente (a) medidos no Bloco BM-J-1, na superfície, para o período de 1º de março a 31 de maio de 2004, e (b) simulados pelo modelo hidrodinâmico nesta mesma região.	III-18
Figura III.4.2-10 - Instantâneo típico de inverno do campo de correntes obtidos para todo o domínio modelado (com 1/16 de resolução da grade).	III-20
Figura III.4.2-11 - Instantâneo típico de verão do campo de correntes obtidos para todo o domínio modelado (com 1/16 de resolução da grade).	III-21
Figura III.4.2-12 - Médias mensais climáticas da circulação próxima à superfície para os meses de dezembro a março.	III-22
Figura III.4.2-13 - Médias mensais climáticas da circulação próxima à superfície para os meses de junho a setembro.	III-23
Figura III.4.2-14 - Velocidade média das correntes (em nós) no litoral da Bahia e adjacências: (a) fevereiro e (b) julho, de acordo com dados do Japan Oceanographic Data Center.	III-24
Figura III.4.2-15 - Secções verticais da componente v da velocidade (ao longo da costa) para a secção 1, em junho (a) e fevereiro (b).	III-25
Figura III.4.2-16 - Secções verticais da componente v da velocidade (ao longo da costa) para a secção 2, em junho (a) e fevereiro (b).	III-26
Figura III.4.2-17 - Zoom dos primeiros 600 metros das secções verticais da componente v da velocidade (ao longo da costa) para a secção 2, em junho (a) e fevereiro (b).	III-27
Figura III.4.2-18 - Instantâneos do modelo hidrodinâmico para a distribuição espacial das correntes típicas de verão (a) e inverno (b).	III-28

FIGURA	PÁG.
Figura IV.1.1-1 - Grade definindo os contornos de terra (grade <i>land-water</i>) para a modelagem de deriva de óleo a partir do Bloco BM-J-1, para as simulações de verão.	IV-2
Figura IV.1.1-2 - Grade definindo os contornos de terra (grade <i>land-water</i>) para a modelagem de deriva de óleo a partir do Bloco BM-J-1, para as simulações de inverno.	IV-3
Figura IV.1.2-2 - Diagrama <i>stick plot</i> dos valores médios diários de dados de vento NCEP Ilhéus durante o período de janeiro a dezembro de 2004 (convenção vetorial).	IV-3
Figura IV.1.2-3 - Diagrama <i>stick plot</i> dos valores médios diários de dados de vento INFRAERO Ilhéus durante o período de janeiro a dezembro de 2004 (convenção vetorial).	IV-4
Figura IV.1.2-4 - Diagrama <i>stick plot</i> dos valores médios diários de dados de vento INFRAERO Salvador durante o período de janeiro a dezembro de 2004 (convenção vetorial).	IV-5
Figura IV.1.2-5 - Histograma direcional dos vetores de vento NCEP Ilhéus para (a) verão (janeiro a março de 2004) e (b) inverno (junho a agosto de 2004).	IV-6
Figura IV.1.2-6 - Histograma direcional dos vetores de vento INFRAERO Ilhéus para (a) verão (janeiro a março de 2004) e (b) inverno (junho a agosto de 2004).	IV-7
Figura IV.1.2-7 - Histograma direcional dos vetores de vento INFRAERO Salvador para (a) verão (janeiro a março de 2004) e (b) inverno (junho a agosto de 2004).	IV-8
Figura V.1.1-1 - Cenário BMJ1_LEADF2_VER_8_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m ³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-3
Figura V.1.1-2 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_8_30D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m ³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-4
Figura V.1.1-3 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_8_30D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m ³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-5

FIGURA	PÁG.
Figura V.1.1-4 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_8_30D. Volume máximo de óleo na costa (m ³ /m) para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m ³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-6
Figura V.1.1-5 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_8_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m ³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.	V-7
Figura V.1.1-6 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_8_30D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m ³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.	V-8
Figura V.1.1-7 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_8_30D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m ³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.	V-9
Figura V.1.1-8 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_8_30D. Volume máximo de óleo na costa (m ³ /m) para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m ³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.	V-10
Figura V.1.1-9 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_8_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m ³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-11
Figura V.1.1-10 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_8_30D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m ³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-12
Figura V.1.1-11 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_8_30D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m ³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-13

FIGURA	PÁG.
Figura V.1.1-12 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_8_30D. Volume máximo de óleo na costa (m^3/m) para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de $8 m^3$ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-14
Figura V.1.1-13 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_8_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de $8 m^3$ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.	V-15
Figura V.1.1-14 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_8_30D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de $8 m^3$ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.	V-16
Figura V.1.1-15 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_8_30D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de $8 m^3$ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.	V-17
Figura V.1.1-16 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_8_30D. Volume máximo de óleo na costa (m^3/m) para um acidente no ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de $8 m^3$ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.	V-18
Figura V.1.2-1 – Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_200_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de $200 m^3$ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-23
Figura V.1.2-2 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_200_30D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de $200 m^3$ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-24
Figura V.1.2-3 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_200_30D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de $200 m^3$ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-25

FIGURA	PÁG.
Figura V.1.2-4 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_200_30D. Volume máximo de óleo na costa (m ³ /m) para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m ³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-26
Figura V.1.2-5 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_200_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m ³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.	V-27
Figura V.1.2-6 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_200_30D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m ³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.	V-28
Figura V.1.2-7 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_200_30D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m ³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.	V-29
Figura V.1.2-8 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_200_30D. Volume máximo de óleo na costa (m ³ /m) para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m ³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.	V-30
Figura V.1.2-9 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_200_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m ³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-31
Figura V.1.2-10 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_200_30D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m ³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-32
Figura V.1.2-11 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_200_30D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m ³ (instantâneo) de óleo Diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-33

FIGURA	PÁG.
Figura V.1.2-12 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_200_30D. Volume máximo de óleo na costa (m ³ /m) para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m ³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-34
Figura V.1.2-13 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_200_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m ³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.	V-35
Figura V.1.2-14 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_200_30D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m ³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.	V-36
Figura V.1.2-15 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_200_30D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m ³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.	V-37
Figura V.1.2-16 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_200_30D. Volume máximo de óleo na costa (m ³ /m) para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m ³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.	V-38
Figura V.1.3-1 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_PC_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de pior caso (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-43
Figura V.1.3-2 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_PC_30D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de pior caso (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-44
Figura V.1.3-3 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_PC_30D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de pior caso (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-45

FIGURA	PÁG.
Figura V.1.3-4 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_PC_30D. Volume máximo de óleo na costa (m ³ /m) para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de pior caso (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-46
Figura V.1.3-5 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_PC_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de pior caso (durante 30 dias) de óleo tipo BAS-11, após 60 dias de simulação.	V-47
Figura V.1.3-6 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_PC_60D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de pior caso (durante 30 dias) de óleo tipo BAS-11, após 60 dias de simulação.	V-48
Figura V.1.3-7 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_PC_60D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de pior caso (durante 30 dias) de óleo tipo BAS-11, após 60 dias de simulação.	V-49
Figura V.1.3-8 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_PC_60D. Volume máximo de óleo na costa (m ³ /m) para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de pior caso (durante 30 dias) de óleo tipo BAS-11, após 60 dias de simulação.	V-50
Figura V.1.3-9 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_PC_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de pior caso (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-51
Figura V.1.3-10 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_PC_30D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de pior caso (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-52
Figura V.1.3-11 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_PC_30D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de pior caso (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-53

FIGURA	PÁG.
Figura V.1.3-12 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_PC_30D. Volume máximo de óleo na costa (m ³ /m) para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de pior caso (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.	V-54
Figura V.1.3-13 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_PC_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de pior caso (durante 30 dias) de óleo tipo BAS-11, após 60 dias de simulação.	V-55
Figura V.1.3-14 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_PC_60D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de pior caso (durante 30 dias) de óleo tipo BAS-11, após 60 dias de simulação.	V-56
Figura V.1.3-15 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_PC_60D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de pior caso (durante 30 dias) de óleo tipo BAS-11, após 60 dias de simulação.	V-57
Figura V.1.3-16 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_PC_60D. Volume máximo de óleo na costa (m ³ /m) para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de pior caso (durante 30 dias) de óleo tipo BAS-11, após 60 dias de simulação.	V-58
Figura V.2.1-1 - DET_ BMJ1_LEADF2_VER_MDIESEL_8_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume pequeno com óleo diesel marítimo, ocorrido durante o verão.	V-65
Figura V.2.1-2 - Balanço de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.1-1.	V-65
Figura V.2.1-3 - DET_ BMJ1_LEADF2_VER_BAS11_8_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume pequeno com óleo tipo BAS-11, ocorrido durante o verão.	V-66
Figura V.2.1-4 - Balanço de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.1-3.	V-66
Figura V.2.1-5 - DET_ BMJ1_LEADF2_INV_MDIESEL_8_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume pequeno com óleo diesel marítimo, ocorrido durante o inverno.	V-67

FIGURA	PÁG.
Figura V.2.1-6 - Balanço de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.1-5.	V-67
Figura V.2.1-7 - DET_ BMJ1_LEADF2_INV_BAS11_8_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume pequeno com óleo tipo BAS-11, ocorrido durante o inverno.	V-68
Figura V.2.1-8 - Balanço de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.1-7.	V-68
Figura V.2.2-1 - DET_ BMJ1_LEADF2_VER_MDIESEL_200_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume médio com óleo diesel marítimo, ocorrido durante o verão.	V-70
Figura V.2.2-2 - Balanço de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.2-1.	V-70
Figura V.2.2-3 - DET_ BMJ1_LEADF2_VER_BAS11_200_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume médio com óleo tipo BAS-11, ocorrido durante o verão.	V-71
Figura V.2.2-4 - Balanço de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.2-3.	V-71
Figura V.2.2-5 - DET_ BMJ1_LEADF2_INV_MDIESEL_200_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume médio com óleo diesel marítimo, ocorrido durante o inverno.	V-72
Figura V.2.2-6 - Balanço de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.2-5.	V-72
Figura V.2.2-7 - DET_ BMJ1_LEADF2_INV_BAS11_200_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume médio com óleo tipo BAS-11, ocorrido durante o inverno.	V-73
Figura V.2.2-8 - Balanço de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.2-7.	V-73
Figura V.2.3-1 - DET_ BMJ1_LEADF2_VER_MDIESEL_PC_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume de pior caso com óleo diesel marítimo, ocorrido durante o verão.	V-75
Figura V.2.3-2 - Balanço de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.3-1.	V-75
Figura V.2.3-3 - DET_ BMJ1_LEADF2_VER_BAS11_PC_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume de pior caso com óleo tipo BAS-11, ocorrido durante o verão.	V-76
Figura V.2.3-4 - Balanço de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.3-3.	V-76

FIGURA	PÁG.
Figura V.2.3-5 - DET_ BMJ1_LEADF2_INV_MDIESEL_PC_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume de pior caso com óleo diesel marítimo, ocorrido durante o inverno.	V-77
Figura V.2.3-6 - Balanço de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.3-5.	V-77
Figura V.2.3-7 - DET_ BMJ1_LEADF2_INV_BAS11_PC_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume de pior caso com óleo tipo BAS-11, ocorrido durante o inverno.	V-78
Figura V.2.3-8 - Balanço de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.3-7.	V-78
Figura V.3-1 - Cenário DET_ BMJ1_LEADF2_VER_MDIESEL_PC_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação.	V-79
Figura V.3-2 - Cenário DET_ BMJ1_LEADF2_VER_MDIESEL_PC_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo 8 horas após o início da simulação.	V-80
Figura V.3-3 - Cenário DET_ BMJ1_LEADF2_VER_MDIESEL_PC_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação (14 horas).	V-81
Figura V.3-4 - Cenário DET_ BMJ1_LEADF2_VER_BAS11_PC_60D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação.	V-82
Figura V.3-5 - Cenário DET_ BMJ1_LEADF2_VER_BAS11_PC_60D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo 10 horas após o início da simulação.	V-83
Figura V.3-6 - Cenário DET_ BMJ1_LEADF2_VER_BAS11_PC_60D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação (14 horas).	V-84
Figura V.3-7 - Cenário DET_ BMJ1_LEADF2_INV_MDIESEL_PC_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação.	V-85
Figura V.3-8 - Cenário DET_ BMJ1_LEADF2_MDIESEL_PC_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo 10 horas após o início da simulação.	V-86
Figura V.3-9 - Cenário DET_ BMJ1_LEADF2_MDIESEL_PC_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação (14 horas).	V-87

FIGURA	PÁG.
Figura V.3-10 - Cenário DET_ BMJ1_LEADF2_INV_BAS11_PC_60D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação.	V-88
Figura V.3-11 - Cenário DET_ BMJ1_LEADF2_INV_BAS11_PC_60D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo 10 horas após o início da simulação.	V-89
Figura V.3-12 - Cenário DET_ BMJ1_LEADF2_INV_BAS11_PC_60D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação (14 horas).	V-90

RESUMO

Para dar suporte aos estudos ambientais referentes ao “Relatório de Controle Ambiental (RCA) da Atividade de Perfuração Marítima no Bloco BM-J-1 Bacia de Jequitinhonha”, o sistema de modelos OILMAP da **Applied Science Associates (ASA), Inc.** foi utilizado para definir a área potencialmente ameaçada por derrames de óleo decorrente de atividades nesta região, seguindo orientações do Parecer Técnico CGPEG/DILIC/IBAMA nº 282/09.

A Bacia de Jequitinhonha está inserida na região da Bifurcação da Corrente Sul-Equatorial (BICSE), uma zona de formação e divisória entre fluxos conhecidos (Corrente do Brasil - CB e Corrente Norte do Brasil - CNB). Conforme observado nos dados da região, sobre a plataforma, há uma dinâmica bastante variada apresentando regiões localizadas onde há amplificações do sinal de maré e reversões completas no fluxo (para norte-nordeste) ao longo de toda a costa.

A caracterização dos padrões de circulação na região foi obtida através de resultados do modelo numérico hidrodinâmico desenvolvido a partir do código de domínio público do *Princeton Ocean Model* (POM), ajustado para modelar as correntes oceânicas na região do Estado da Bahia.

Foram conduzidas simulações probabilísticas para determinar contornos de probabilidade de dois produtos (óleo diesel marítimo e óleo cru) atingirem a área de estudo a partir de três classes de derrame, como definido na Resolução CONAMA nº 398/08: pequeno (8 m^3), médio (200 m^3) e pior caso. Os volumes de pior caso considerados neste estudo foram de $2.170,23 \text{ m}^3$ (derrame instantâneo) para óleo diesel marítimo, correspondente à hipótese acidental de ruptura dos tanques da unidade marítima, e de 7.500 m^3 de óleo cru (derrame durante 30 dias), correspondente à perda de controle do poço (*blowout*) de maior surgência. A partir dos resultados dessas simulações probabilísticas foram selecionados os cenários determinísticos críticos para condições de verão e inverno, utilizando como critério o menor tempo de toque de óleo na costa. O critério de parada adotado nas simulações foi o tempo de 30 dias após o final do vazamento.

Os resultados das simulações probabilísticas mostraram que, em todos os cenários simulados, há probabilidade de toque na costa. Para o período de verão, a maior extensão da linha de costa com probabilidade de toque foi de, aproximadamente, 557 km; e de 328 km para o inverno. Os menores tempos de toque de óleo na costa foram de 14 horas no verão e inverno, sendo o primeiro toque nos municípios baianos de Una (verão) e Ilhéus (inverno).

I INTRODUÇÃO

Com o objetivo de dar suporte a PETROBRAS na elaboração do “Relatório de Controle Ambiental (RCA) da Atividade de Perfuração Marítima no Bloco BM-J-1, Bacia de Jequitinhonha”, apresenta-se este trabalho de modelagem computacional da trajetória e intemperismo de óleo decorrente das atividades de perfuração marítima neste bloco, de acordo com o Parecer Técnico CGPEG/DILIC/IBAMA nº 282/09 (PT 282/09).

As modelagens foram conduzidas através da utilização de um sistema de modelos conhecido como OILMAP, desenvolvido pela **Applied Science Associates (ASA), Inc.** A **ASA** tem mais de 30 anos de experiência com utilização de ferramentas computacionais para estudos de impacto ambiental causados por acidentes com petróleo.

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

Foram conduzidas simulações probabilísticas para determinar contornos de probabilidade de dois produtos (óleo diesel marítimo e óleo cru) atingirem a área de estudo a partir de três classes de derrame, como definido na Resolução CONAMA¹ nº 398/08 (Brasil, 2008): pequeno (8 m³), médio (200 m³) e pior caso. Os volumes de pior caso considerados neste estudo foram de 2.170,23 m³ (derrame instantâneo) para óleo diesel marítimo, correspondente a hipótese acidental de ruptura dos tanques da unidade marítima, e de 7.500 m³ de óleo cru (derrame durante 30 dias), correspondente à perda de controle do poço (*blowout*) de maior urgência. A partir dos resultados dessas simulações probabilísticas foram selecionados os cenários determinísticos críticos para condições de verão e inverno, utilizando como critério o menor tempo de toque de óleo na costa.

¹ Conselho Nacional do Meio Ambiente.

Para a modelagem de dispersão da mancha de óleo foram utilizados dados de vento INFRAERO² (medidos em Ilhéus e em Salvador), combinados aos resultados de reanálise dos modelos meteorológicos do NCEP/NCAR³ (em região oceânica), visando à introdução de efeitos locais (principalmente brisa marinha) à variabilidade espacial do campo NCEP. 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 correntes oceânicas na região do Estado da Bahia.

O Capítulo I, além de discutir os propósitos do estudo, fornece informações sobre a área de estudo. No Capítulo II são apresentadas as análises dos dados ambientais disponíveis. O Capítulo III descreve a implementação do modelo hidrodinâmico e apresenta a avaliação do mesmo. O Capítulo IV descreve os cenários acidentais de óleo, suas características e os dados de entrada. Os resultados das simulações probabilísticas e determinísticas críticas são apresentados no Capítulo V. Por fim, o Capítulo VI apresenta as considerações finais para o presente estudo. O Anexo A apresenta a descrição do modelo hidrodinâmico POM e o Anexo B a descrição do modelo OILMAP.

I.1 ÁREA DE ESTUDO

A figura I.1-1 apresenta a localização do ponto de risco no Bloco BM-J-1, Bacia de Jequitinhonha, para o qual foram realizadas simulações numéricas de potenciais acidentes com derrame de óleo diesel marítimo e óleo cru.

² Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária.

³ *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) e *National Center for Atmospheric Research* (NCAR), disponibilizados pelo Climate Diagnostics Center (CDC) da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

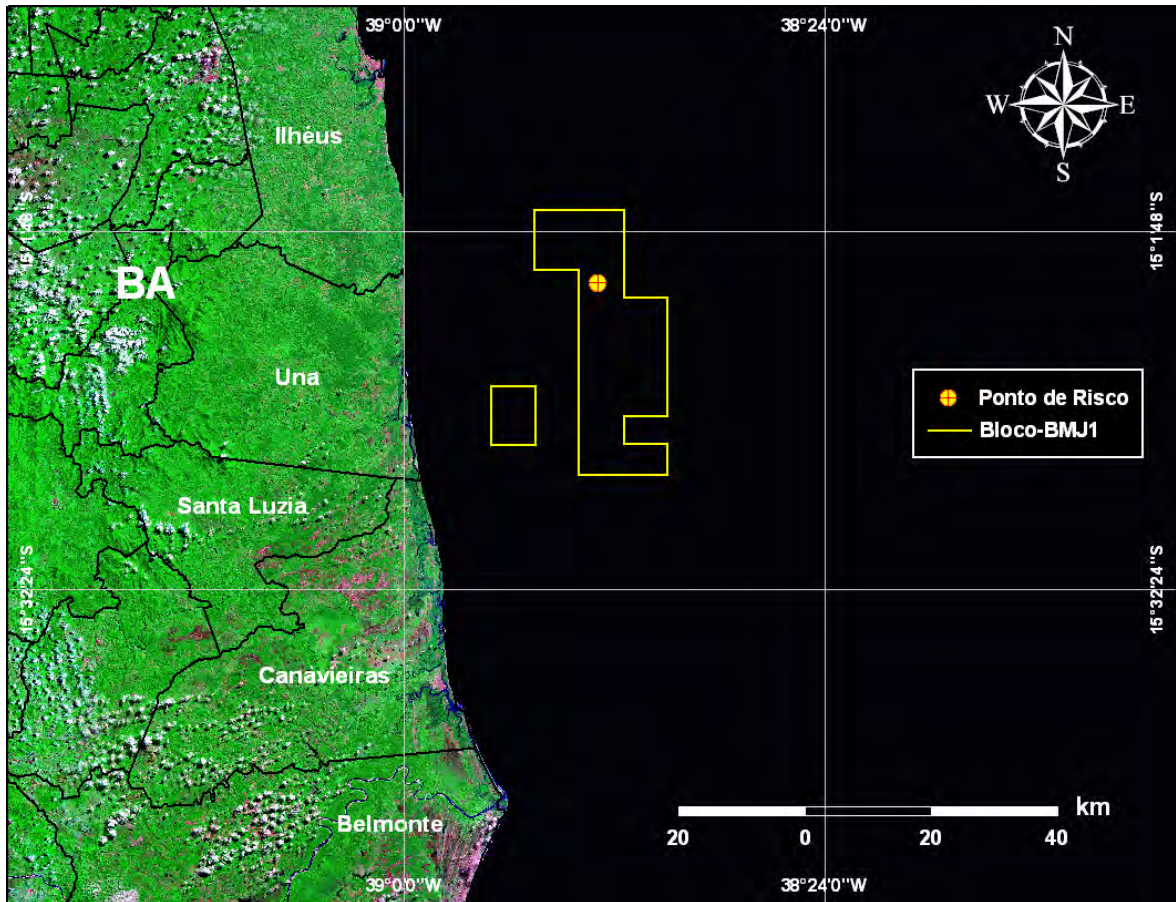


Figura I.1-1 - Localização do ponto de risco na região do Bloco BM-J-1, na Bacia de Jequitinhonha.

I.1.1 Características Meteorológicas da Região

A região Nordeste do Brasil apresenta alta variabilidade climática (Climanálise, 1996). A principal estação chuvosa (incluindo o norte e leste da região), responsável por 60% da chuva anual, ocorre de abril a julho e a estação seca ocorre de setembro a dezembro, para a maior parte da região (Rao *et al.*, 1993). Esta variabilidade pluviométrica interanual está associada às variações nos padrões de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre os oceanos tropicais, os quais afetam a posição e a intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Oceano Atlântico, modulando assim os índices pluviométricos da região Nordeste (Hastenrath, 1984; Moura & Shukla, 1981).

As figuras I.1.1-1 e I.1.1-2 apresentam o comportamento sazonal da circulação atmosférica obtida através da média de 12 anos (1990 - 2001) de Reanálise do modelo de circulação geral do NCEP. Nessa análise foram utilizados dados de vento na altura de 10 m. Observa-se a mudança de posicionamento sazonal dos sistemas dominantes sobre a região Nordeste do Brasil (Alta Subtropical do Atlântico Sul – ASAS e da Zona de Convergência Intertropical – ZCIT), que se posicionam mais ao sul nos meses de verão.

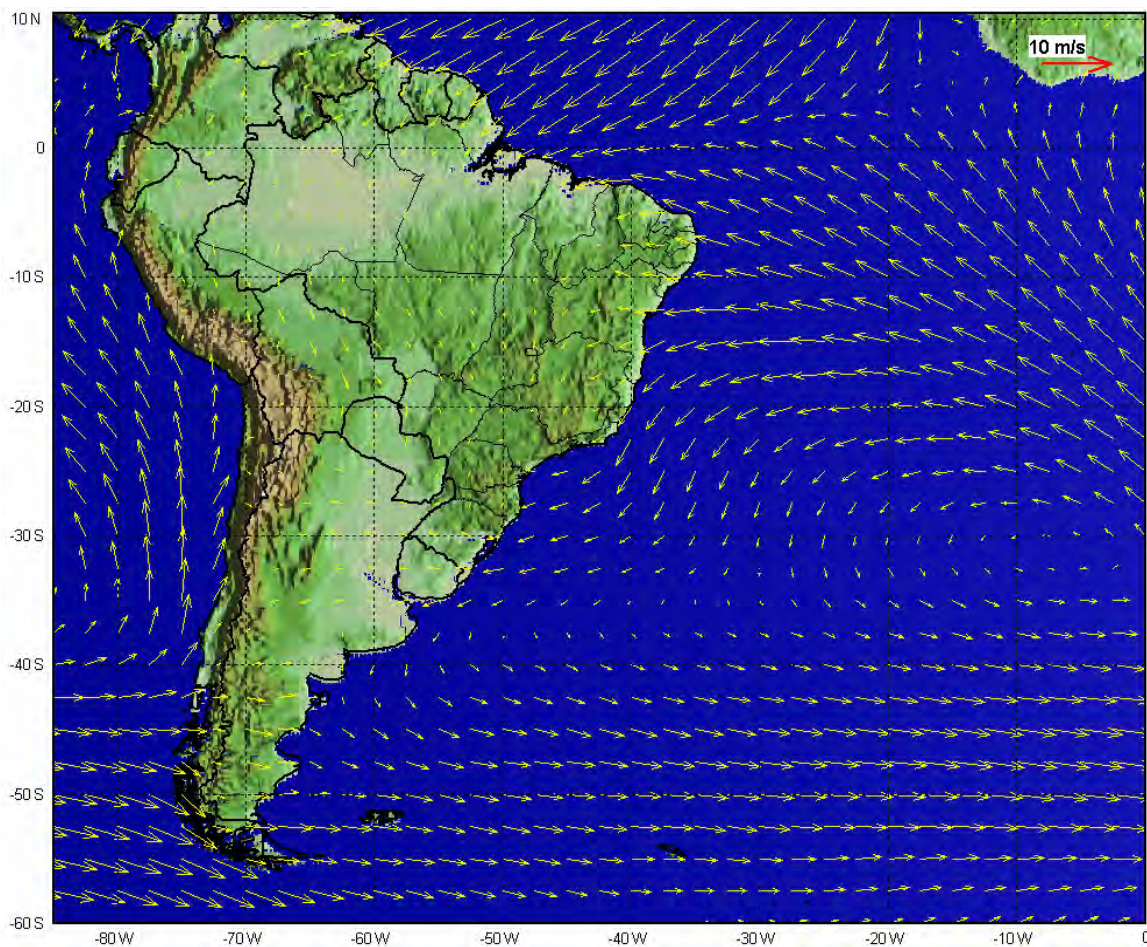


Figura I.1.1-1 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento NCEP no período de verão.

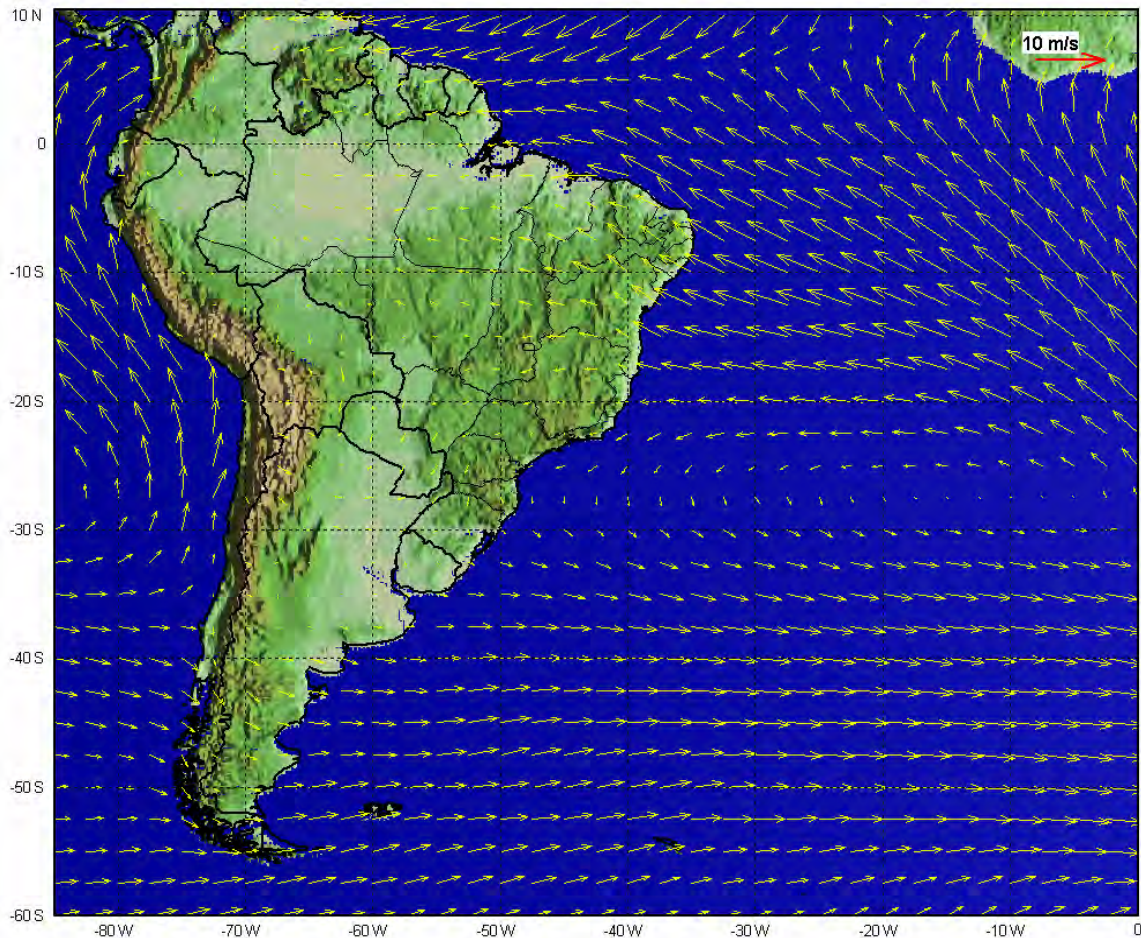


Figura I.1.1-2 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento NCEP no período de inverno.

A circulação atmosférica na região Nordeste é influenciada por quatro sistemas de circulação, denominados Sistemas de Correntes Perturbadas de Sul, Norte, Leste e Oeste. O sistema proveniente do sul, representado pelas frentes polares que alcançam a região na primavera/verão, das áreas litorâneas até o sul da Bahia, traz chuvas frontais e pós-frontais. No inverno, esses sistemas frontais chegam até o litoral de Pernambuco, enquanto o sertão permanece sob a ação da alta tropical. O Sistema de Correntes Perturbadas de Norte é representado pelo deslocamento sazonal da ZCIT (mais ao sul no verão), como pode ser visto na figura I.1.1-1, provocando chuvas do verão ao outono. Por outro lado, as perturbações de leste, que são provocadas pela convergência dos Alísios com a brisa marítima, são mais frequentes no inverno e, normalmente, provocam chuvas abundantes no litoral, raramente alcançando as escarpas do Planalto da Borborema (800 m) e da Chapada Diamantina (1.200 m). Por fim, o sistema de

correntes de oeste, trazidas pelas linhas de Instabilidade Tropical (IT), ocorrem desde o final da primavera até o início do outono, raramente alcançando os estados do Piauí e Maranhão.

A figura I.1.1-3 apresenta uma análise do comportamento médio mensal e extremo (mínimos e máximos) da magnitude do vento na região de estudo. Para esta análise foi utilizada uma série histórica de 30 anos (1979 a 2008) de dados do vento da reanálise do NCEP obtidos a 10 m de altura para o ponto mais próximo da região de estudo (14,3°S / 39,4°W). Observa-se que a intensidade é menor nos meses de verão e outono, aumentando nos meses de inverno e primavera.

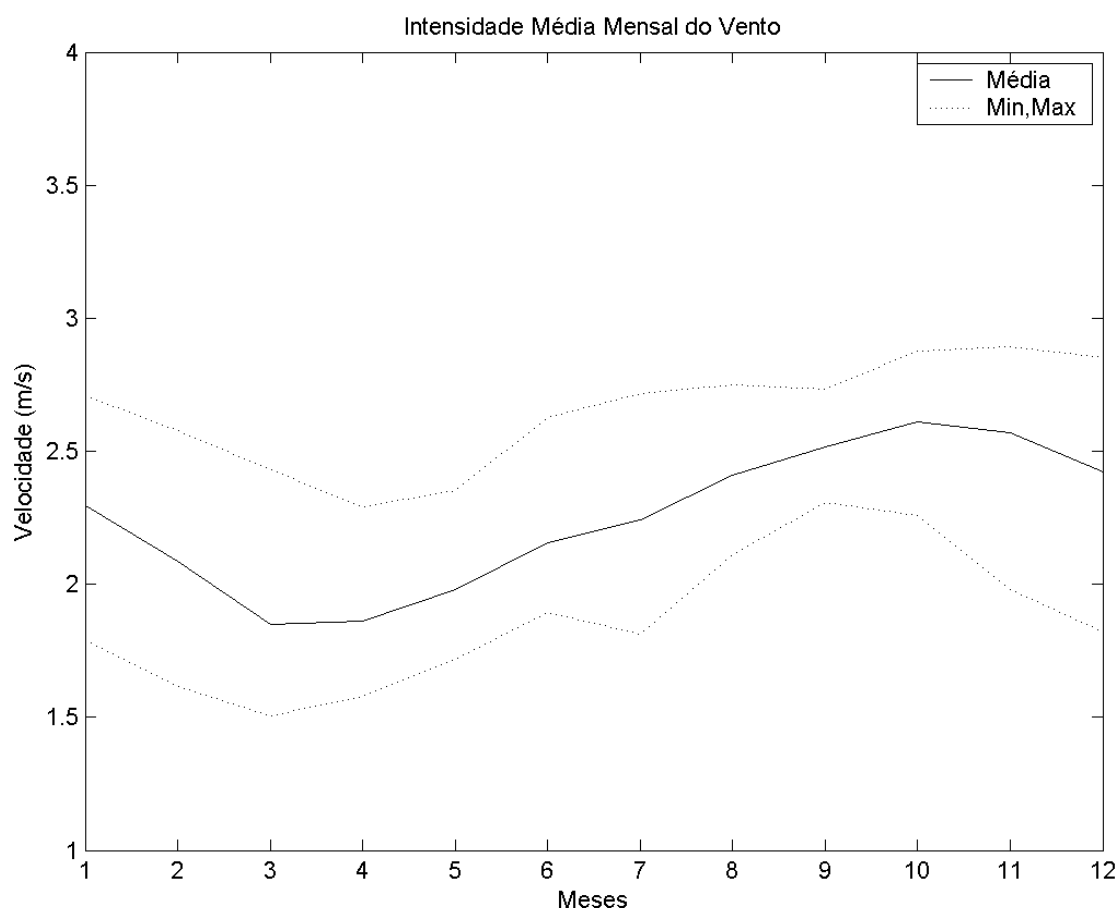


Figura I.1.1-3 - Intensidade média mensal, mínimas e máximas do vento para o período de 1979 a 2008.

I.1.2 Características Oceanográficas da Região

Toda a região localizada acima da Cadeia Vitória-Trindade é uma zona de formação e divisória entre fluxos superficiais e sub-superficiais (*i.e* Corrente do Brasil - CB e Corrente Norte do Brasil - CNB). Este processo, conhecido como Bifurcação da Corrente Sul-Equatorial (BICSE), é relativamente pouco estudado do ponto de vista observacional, embora já bastante discutido em literatura relacionada (*e.g.* Stramma & Schott, 1996; Stramma & England, 1999; Rodrigues *et al.*, 2007).

Embora relativamente ainda pouco documentado, o conhecimento sobre os processos oceânicos que ocorrem na região permite o reconhecimento de escalas (no caso meso/larga) e a inter-relação entre as mesmas. Deste modo, processos físicos como os perfis médios da Sub-Corrente Norte do Brasil e as características das massas d'água na área, estabelecidas em Schott *et al.* (2005), são essenciais e principalmente aplicáveis a toda a região compreendida acima do Parcel de Abrolhos, até atingir zona de predomínio dos fluxos equatoriais zonais. Portanto, as conclusões de literatura aqui apresentadas têm direta relação com a dinâmica oceânica adjacente a Bacia de Jequitinhonha. Por outro lado, os dados e conclusões de literatura existentes não contêm informação suficiente de camadas superficiais e plataformas internas, em especial na área. Assim, campanhas de monitoramento (medições) nesta área são meritórias quando executadas e críticas, já que só o acúmulo das mesmas permite a integração de escalas acima mencionada (pequena a larga).

Sobre a plataforma, a dinâmica mostra diversas feições, apresentando desde amplificações de maré sobre o Parcel de Abrolhos e nas proximidades da Baía de Todos os Santos (BTS), até reversões do fluxo principal para norte, padrão já confirmado por medições da PETROBRAS na área (ASA, 2004). A plataforma continental é bastante estreita, apresentando, em algumas áreas, um talude continental abrupto e recortado. Nestas áreas mais estreitas, o efeito da circulação do talude e oceano aberto se fazem mais presentes. Especificamente sobre o talude, pouco se conhece sobre a circulação média e suas variabilidades. Supõe-se que o padrão de corrente de contorno oeste em regime permanente,

deverá contribuir diretamente para a formação do fluxo da Corrente do Brasil (melhor definido ao sul do Parcel de Abrolhos).

Por estas razões, a representação da circulação hidrodinâmica, na área de estudo, depende essencialmente da escala espacial e temporal analisada. A figura I.1.2-1 ilustra as feições superficiais médias a partir dos resultados climatológicos de uma simulação numérica realizada com o OCCAM⁴.

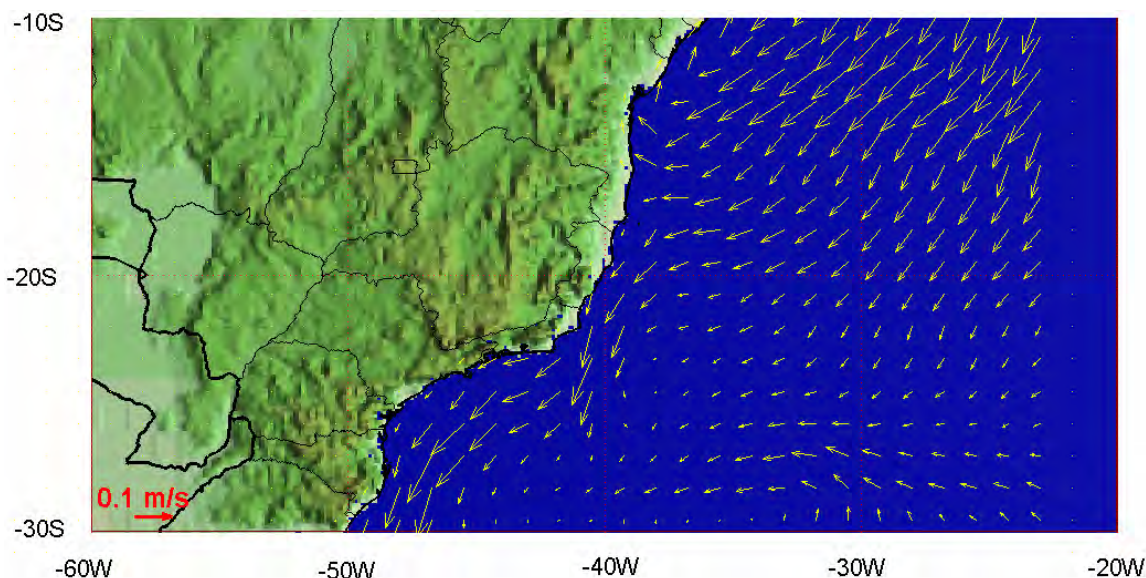


Figura I.1.2-1 - Média climatológica da velocidade baroclínica calculada pelo OCCAM.

De acordo com os resultados obtidos por Rodrigues *et al.* (2007), considerando uma média anual, a BICSE ocorre entre 10° e 14° S próximo a superfície, deslocando-se em direção ao sul com o aumento da profundidade, alcançando 27°S a 1.000 m. A variabilidade sazonal da latitude de bifurcação é mais acentuada nos 400 m superficiais, onde atinge uma posição mais ao sul em julho e mais ao norte em novembro.

Recentemente, Schott *et al.* (op. cit.) analisaram dados de correntes coletados na radial sul do projeto CLIVAR⁵; a radial compunha-se por 5 (cinco) fundeios (K1 a K5), dispostos entre 36°W e 34°W, perpendicularmente à costa do Brasil, entre as latitudes de 10°S-11°S. Embora relativamente distantes da região em

⁴ Ocean Circulation and Climate Advanced Modelling Project – Climatologia realizada a partir dos últimos 4 anos de uma simulação de 14 anos.

⁵ Climate Variability and Predictability.

foco neste estudo, este amplo conjunto de dados (séries temporais obtidas em várias profundidades para março de 2000 a agosto de 2004) consolidou informações essenciais para o entendimento dos padrões de circulação em talude e oceano profundo na região Nordeste do Brasil. A figura I.1.2-2 apresenta o transporte médio obtido a partir destes dados, ilustrando a estrutura vertical das correntes de contorno oeste nesta área: em sub-superfície, uma corrente intensa para norte-nordeste, associada à Sub-Corrente Norte do Brasil (SCNB); e em maiores profundidades, uma corrente de para sul, também bastante intensa, associada à circulação da Água Profunda do Atlântico Norte (APAN). Observa-se que a SCNB já se encontra bem definida nesta região, corroborando com hipóteses de que a BICSE ocorra ao sul de 11°S.

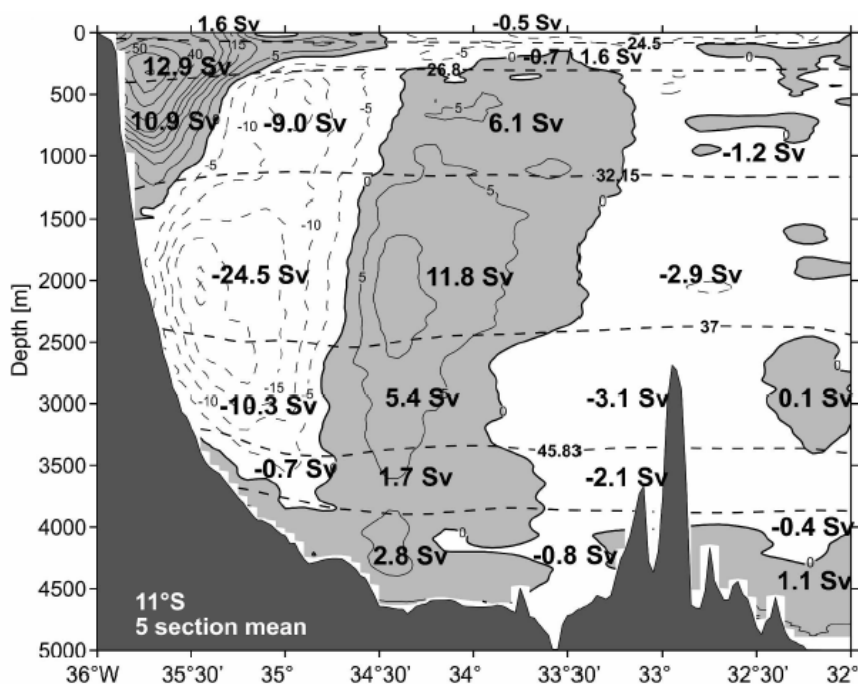


Figura I.1.2-2 - Transporte médio ao longo da costa, baseado na distribuição de correntes obtidas nas 5 estações amostradas de 2000 a 2004 - 11°S (Schott et al., 2005).

No entanto, na superfície, para profundidades inferiores a 100 m, mas ainda em mar aberto, há períodos em que a intensidade da SCNB diminui consideravelmente, como indicado na figura I.1.2-3, que ilustra os resultados publicados, próximos à superfície, no fundeio K2 (ADCP invertido - Schott &

Molinari, 2002); estes dados não estão disponíveis para uma análise mais detalhada, mas indicam a existência de uma variação temporal na posição vertical da SCNB, havendo períodos em que seu núcleo se aprofunda, e outros em que se observa o afloramento do mesmo.

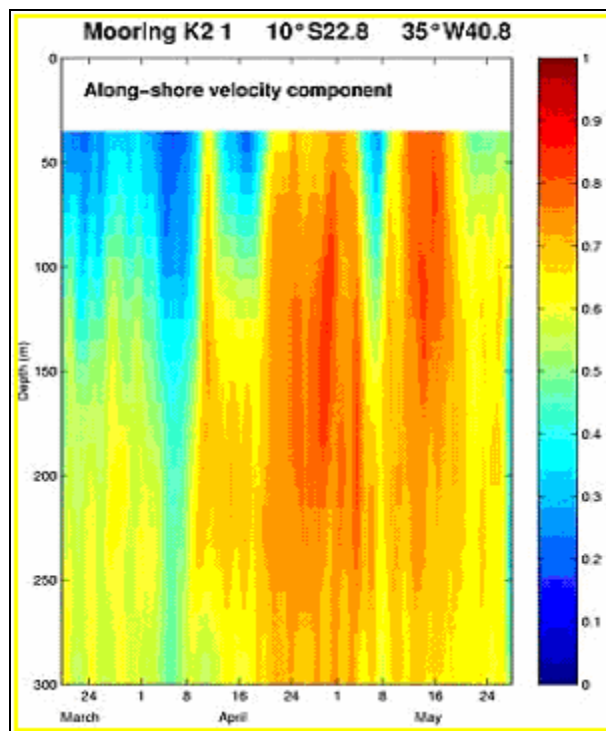


Figura I.1.2-3 - Série temporal do perfil de corrente nos primeiros 300 metros da coluna d'água, obtido a partir de dados com ADCP invertido no ponto do fundeio K2 (Schott & Molinari, 2002).

II ANÁLISE DE DADOS

Com o objetivo de fornecer subsídios à modelagem hidrodinâmica e de dispersão de óleo, foram realizadas análises de dados meteorológicos e oceanográficos existentes nas imediações das bacias de Camamu-Almada e Jequitinhonha.

II.1 VENTOS

Os dados de vento apresentados, a seguir, obtidos junto à INFRAERO (Ilhéus, Salvador e Aracaju) e proveniente de Reanálises do NCEP, para o período de 1º de janeiro de 2003 a 31 de dezembro de 2004, foram analisados visando sua utilização como forçantes compostas para o modelo hidrodinâmico. A figura II.1-1 e a tabela II.1-1 indicam a localização dos dados INFRAERO e dois pontos dos resultados do NCEP, no litoral da Bahia e Sergipe.

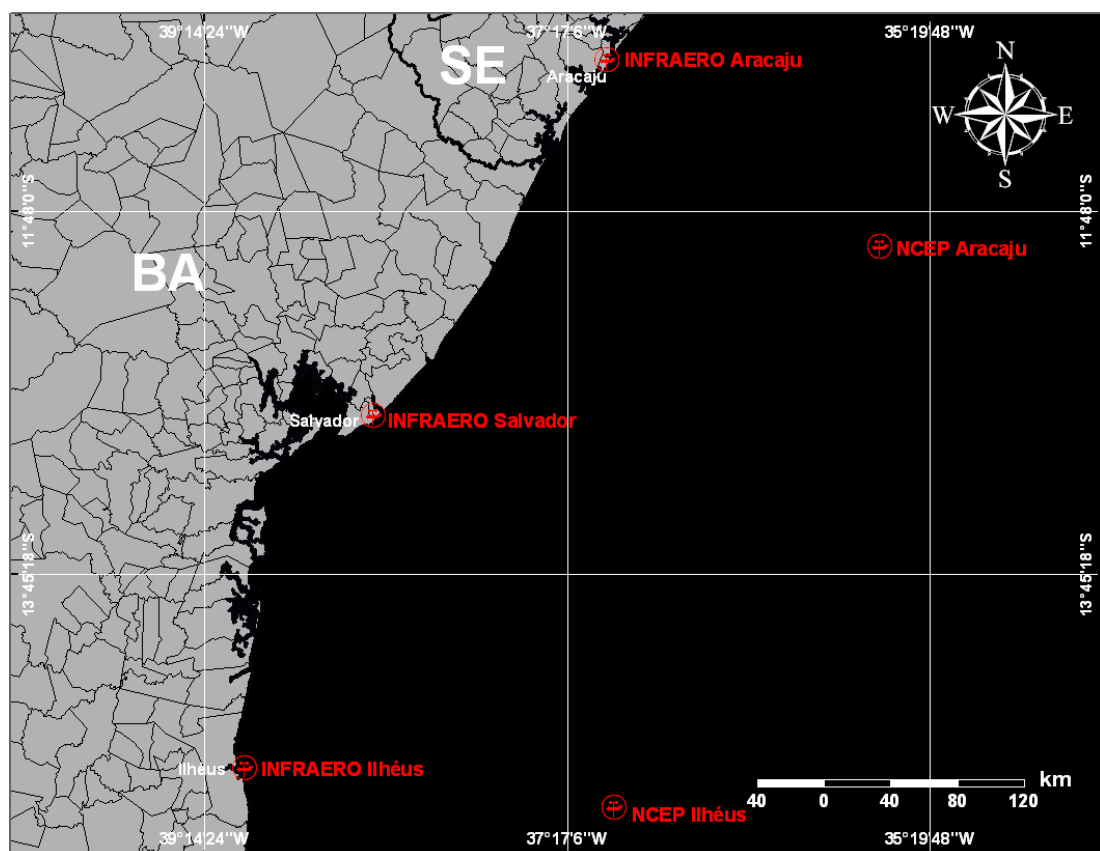


Figura II.1-1 - Dados de vento INFRAERO e NCEP para o litoral da Bahia e Sergipe.

Tabela II.1-1 - Localização dos pontos onde foram obtidas informações de vento.

INFORMAÇÕES DE VENTO	LATITUDE	LONGITUDE
INFRAERO Ilhéus	14,80°S	39,02°W
INFRAERO Salvador	12,90°S	38,33°W
INFRAERO Aracaju	10,98°S	37,07°W
Reanálise NCEP (Ilhéus)	15,01°S	37,03°W
Reanálise NCEP (Aracaju)	11,99°S	35,60°W

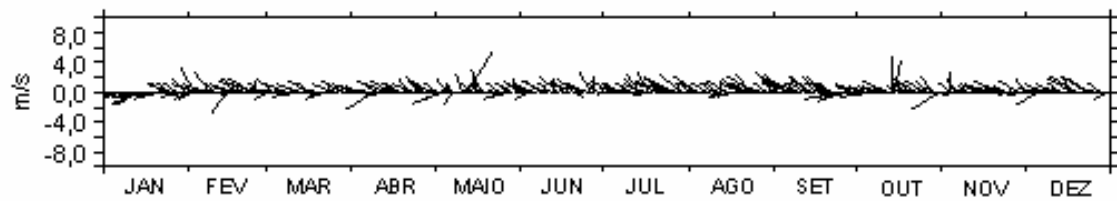
Os dados obtidos junto à INFRAERO foram medidos nos aeroportos de Ilhéus (BA), Salvador (BA) e Aracaju (SE), em intervalos de amostragem de 1 hora. Os resultados de Reanálise do NCEP/NCAR foram obtidos a cada 6 horas e são relativos a um quadrilátero de 2,5° x 2,5° em torno das coordenadas apresentadas na tabela II.1-1.

Nas figuras II.1-2 e II.1-3 são apresentados os diagramas tipo *stick plot* das séries temporais dos ventos de Aracaju, Salvador e Ilhéus, característicos de regiões costeiras (INFRAERO) e oceânicas (NCEP/NCAR), para os anos de 2003 e 2004, respectivamente. Observa-se que, de modo geral, há boa concordância entre dados e resultados de reanálise; durante os meses de inverno o padrão predominante é do quadrante sul, enquanto que no verão é do quadrante leste.

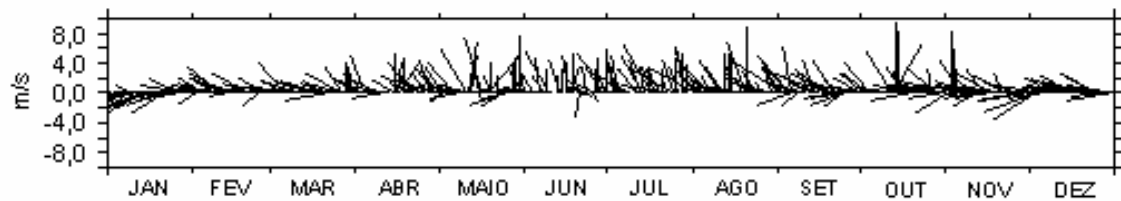
Observa-se, também, que há uma transição entre predomínio do regime da ASAS, em Ilhéus, para o predomínio do regime da ZCIT, em Salvador e Aracaju. Durante o verão, nos aeroportos de Aracaju e Salvador, há predominância de ventos de leste e leste-sudeste, condizentes com o posicionamento mais ao sul da ZCIT. Já em Ilhéus, o predomínio é de ventos de nordeste, condizente com o padrão de verão da ASAS. No inverno, enquanto Aracaju e Salvador apresentam predomínio de ventos de sudeste, no Aeroporto de Ilhéus, há predomínio de ventos de sul-sudoeste.

ANO 2003

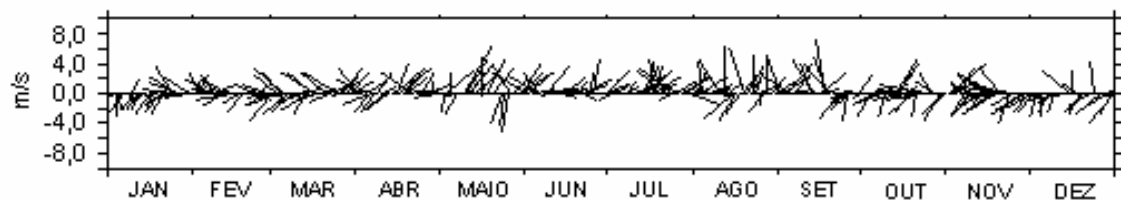
INFRAERO ARACAJU



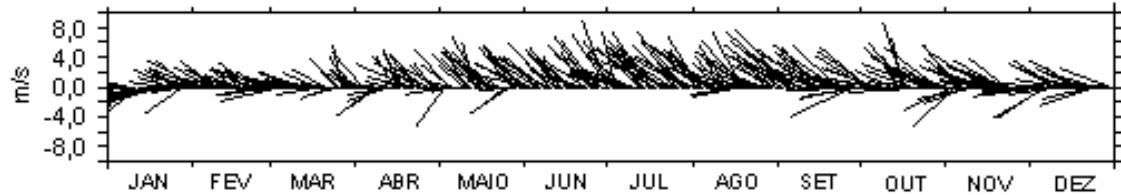
INFRAERO SALVADOR



INFRAERO ILHÉUS



NCEP ARACAJU



NCEP ILHÉUS

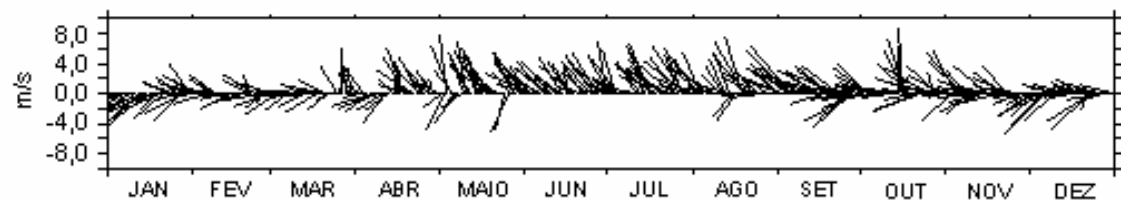
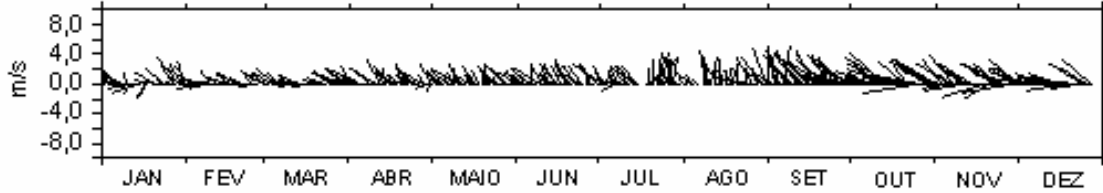


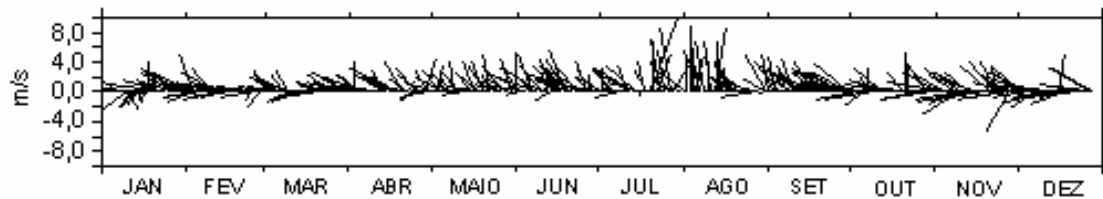
Figura II.1-2 - Diagramas stick plot dos dados de vento da INFRAERO e NCEP/NCAR no litoral da Bahia e Sergipe, durante o ano de 2003 (convenção vetorial).

ANO 2004

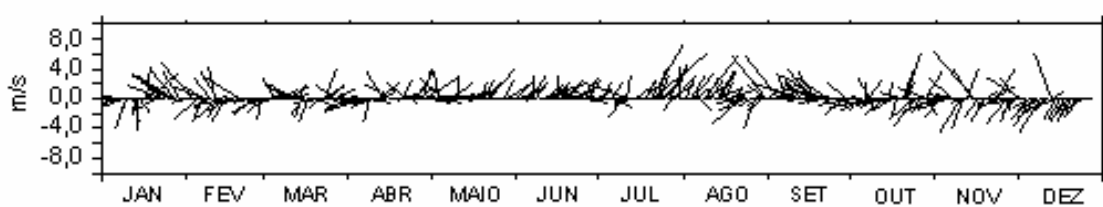
INFRAERO ARACAJU



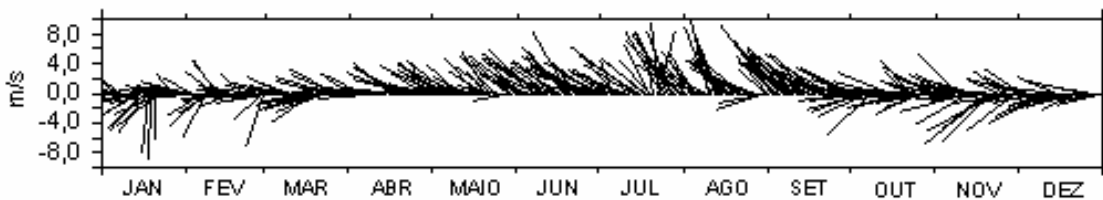
INFRAERO SALVADOR



INFRAERO ILHÉUS



NCEP ARACAJU



NCEP ILHÉUS

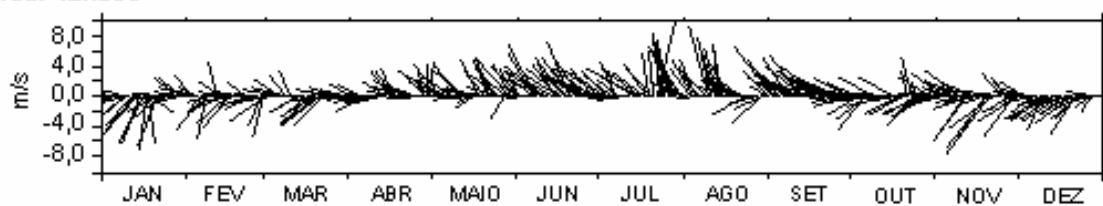


Figura II.1-3 - Diagramas stick plot dos dados de vento da INFRAERO e NCEP/NCAR no litoral da Bahia e Sergipe, durante o ano de 2004 (convenção vetorial).

As figuras II.1-4 e II.1-5 ilustram situações típicas de inverno através dos campos de vento a 10 metros e pressão atmosférica reduzida ao nível médio do mar, obtidas da Reanálise do NCEP, para os dias 1^o e 15 de junho de 2003, às 18GMT. Os campos mostram uma situação de predomínio dos Alísios (figura II.1-4) e uma situação onde o regime de ventos é dominado pela passagem de sistemas frontais (figura II.1-5). Os efeitos orográficos da topografia local são também detectáveis, amplificando a componente meridional do campo de vento.

Perturbações do padrão típico da ASAS, como ilustrado na figura II.1-5, diretamente relacionadas a deslocamentos de sistemas frontais, influenciam fortemente a região, através da intensificação (no inverno) do padrão sudeste (jatos) do vento.

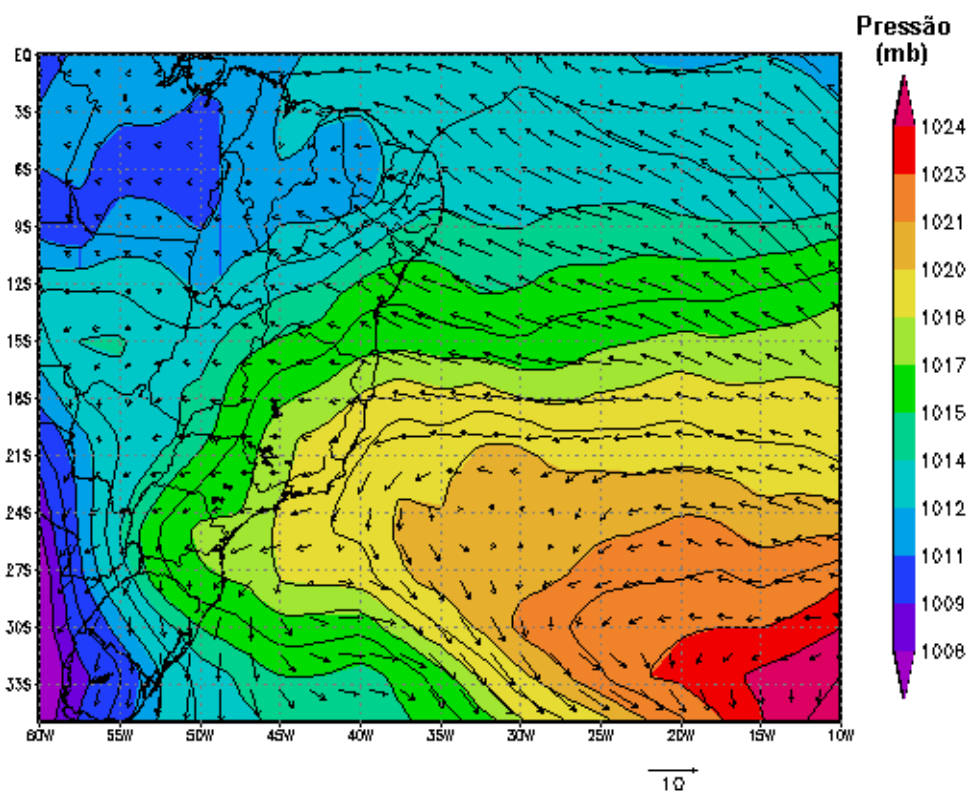


Figura II.1-4 - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos de Reanálise do NCEP para o dia 1^o de junho de 2003, às 18GMT.

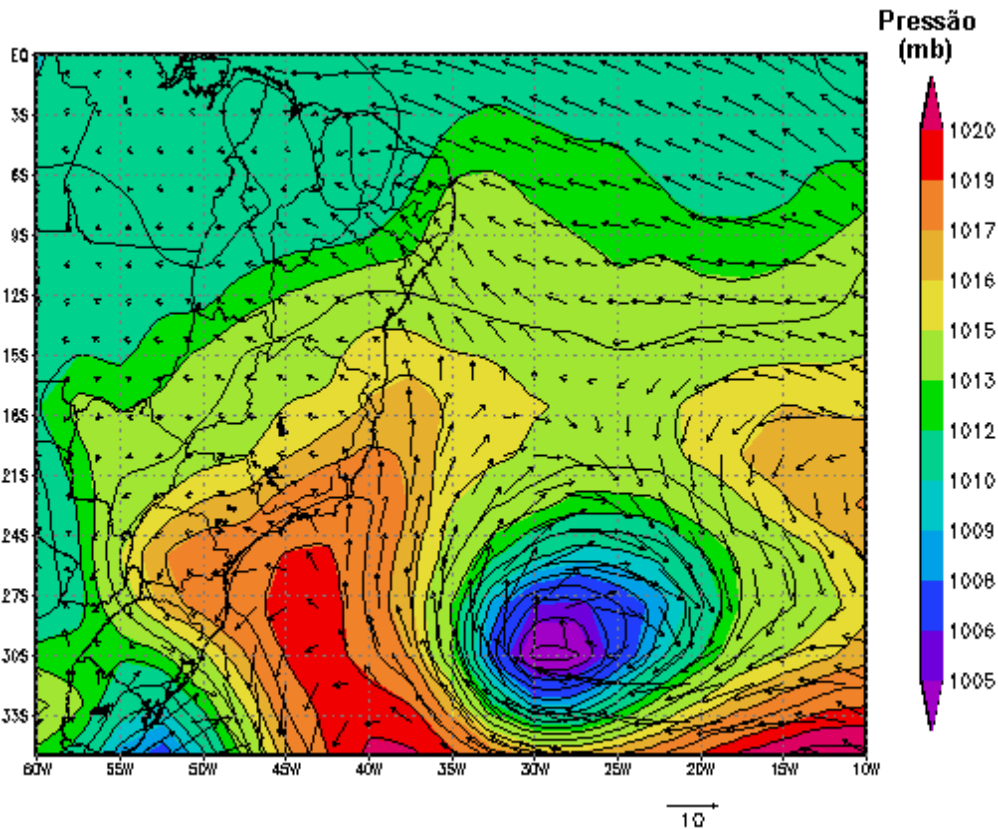


Figura II.1-5 - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos de Reanálise do NCEP para o dia 15 de junho de 2003, às 18GMT.

A figura II.1-6 ilustra a situação típica de verão, no dia 2 de janeiro de 2003, às 18GMT, onde a ASAS e os Alísios de leste-nordeste são predominantes.

Em meso e pequena escala, a circulação gerada pelo vento sobre a região de plataforma está fortemente influenciada pelos efeitos da brisa marinha e pela intensificação da componente meridional do vento. Este fato é explicado pelo efeito da barreira orográfica, mudando localmente o padrão do vento imposto pela larga escala através dos Alísios de sudeste (no inverno) e de leste e nordeste (no verão).

Os dados de vento utilizados na modelagem de derrame de óleo são apresentados e analisados no Subitem IV.1.2.

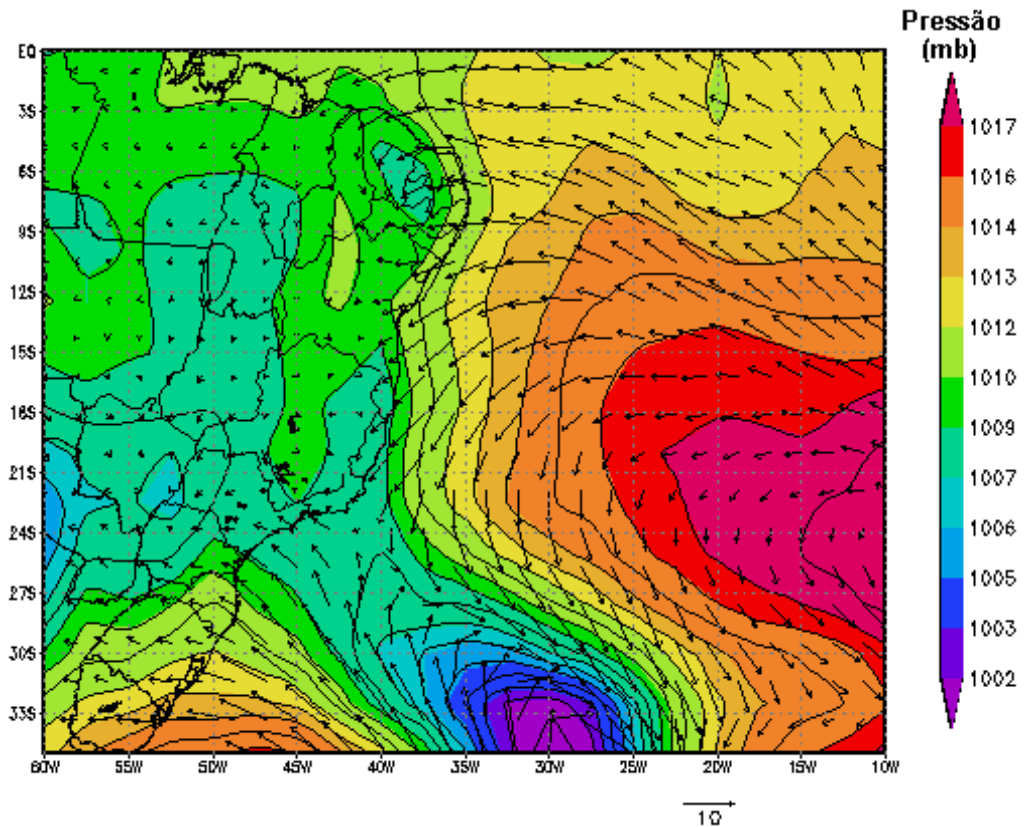


Figura II.1-6 - Campos de vento e pressão atmosférica obtidos de Reanálise do NCEP para o dia 2 de janeiro de 2003, às 18GMT.

II.2 CORRENTES

As informações de correntes apresentadas, a seguir, foram obtidas junto a PETROBRAS. É apresentado o conjunto de dados coletado próximo a Ilhéus, em região de talude, e os dados coletados sobre a plataforma continental, nas adjacências da Baía de Camamu (ADP, análise apresentada em ASA, 2004), conforme indicado na tabela II.2-1.

Tabela II.2-1 - Localização e período de coleta dos dados de corrente.

DADO	POSIÇÃO	PROF. LOCAL	PROF. DE COLETA	PERÍODO (s)
BMJ-1	15°04'59,3"S; 38°43'50,6"W	~ 1000 m	superfície	08/março a 20/maio de 2004
ADP verão	13°35,7'S; 38°49,03'W	~ 45 m	8, 11, 14, 17, 20, 23, 26, 29, 32, 35 e 41 m	29/dezembro de 2002 a 21/janeiro de 2003
ADP inverno	13°35,7'S; 38°49,03'W	~ 45 m	4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31, 34, 37 e 40 m	22/maio a 26/ junho de 2003

O conjunto de dados ADP indica um padrão de correntes superficiais com intensidade média de 0,2 m/s, predominantemente para sul no verão, e para norte-nordeste no inverno, como ilustrado na figura II.2-1 (a direção apresentada refere-se ao norte geográfico, a intensidade é apresentada em m/s, enquanto as escalas de cores representam o número e a porcentagem de observações).

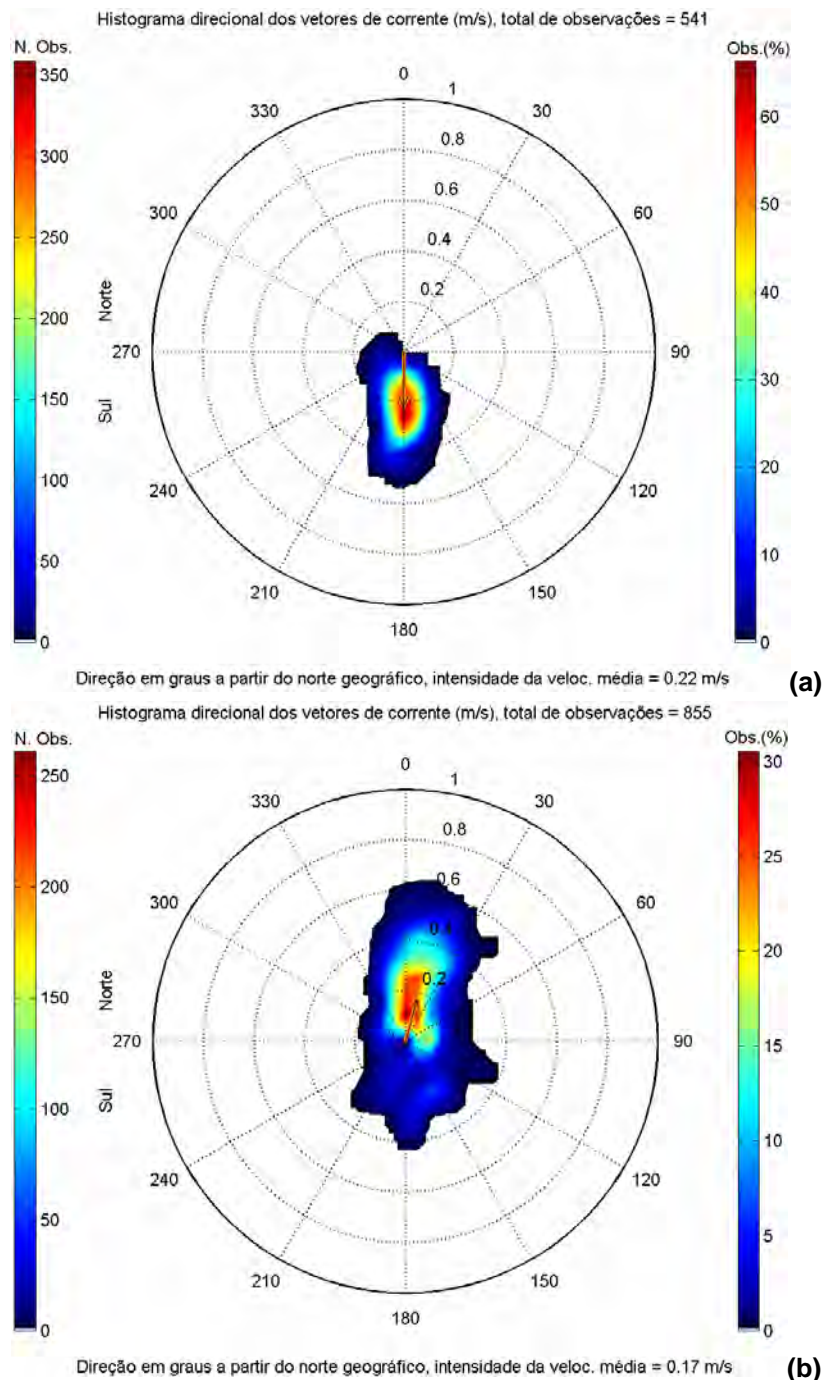


Figura II.2-1 - Histograma direcional dos vetores de corrente medidos nas coordenadas 13°35,7'S e 38°49,03'W, na superfície: (a) de 29 de dezembro de 2002 a 21 de janeiro de 2003 e (b) de 22 de maio a 26 de junho de 2003.

A figura II.2-2 apresenta uma comparação entre os dados ADP de superfície e dados de vento obtidos junto a PETROBRAS, medidos na estação de Barra Grande (BA) em intervalos de 1 hora, nas coordenadas 13°53,7'S e 38°57,08'W, para os períodos de 14 de dezembro de 2002 a 3 de fevereiro de 2003 (verão) e 24 de maio a 24 de junho de 2003 (inverno). Observa-se que as inversões sazonais na direção das correntes refletem um forte acoplamento entre oceano e atmosfera, com as mesmas acompanhando as inversões na direção do vento.

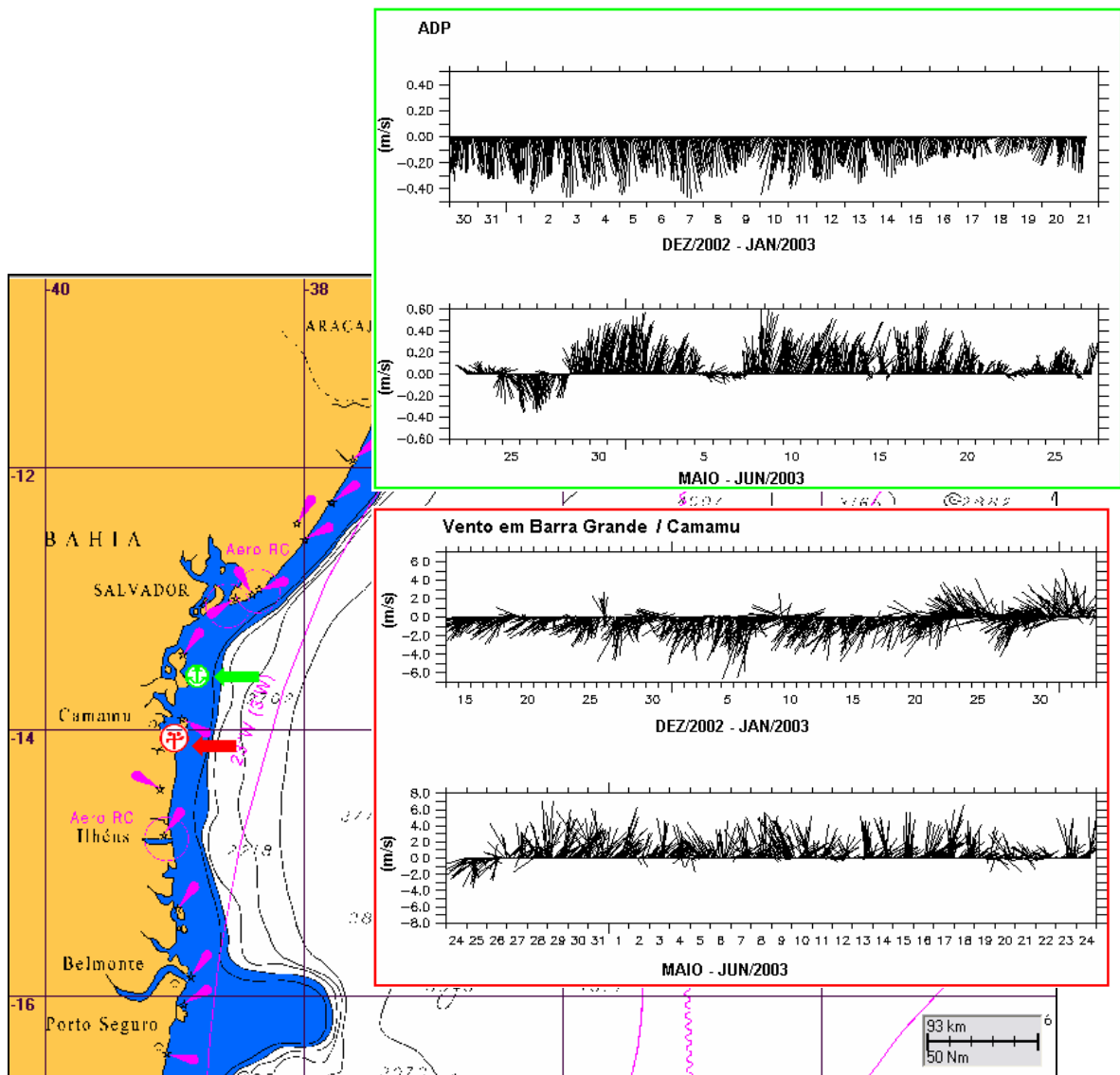


Figura II.2-2 - Comparação entre dados de corrente (painel superior) e vento (painel inferior), obtidos em região de plataforma, próximos a Camamu, em períodos de verão e inverno.

O conjunto de dados de corrente fornecido pela PETROBRAS, coletados na Bacia de Jequitinhonha (BMJ-1) é apresentado na figura II.2-3, extraída do relatório de coleta (PETROBRAS, 2004). Estes dados BMJ-1 apresentam em geral, por analogia aos conjuntos anteriormente analisados (ASA, 2004), a consistência e o comportamento esperados para o ponto (tanto na média, quanto nas variabilidades). Entretanto, antes de se isolar o conjunto para análise e futuras referências neste texto, algumas considerações fazem-se necessárias:

- Os primeiros 20 dias de dados estão bastante consistentes, apresentando variações anômalas nos últimos dias de coleta (área 1 na figura II.2-3). Estes últimos instantes estavam realmente comprometidos (comunicação pessoal) quando foram enviados a [ASA](#);
- Após a interrupção da série (vide área 2 na figura II.2-3), entre os dias 25 de março e 10 de abril, os dados estão visivelmente estacionários na direção (área 3 na figura II.2-3), o que chama atenção, já que mesmo sob forte influência do fluxo SSE presente no talude, há comprovadamente alguma variabilidade na direção zonal do mesmo (em decorrência da atuação direta do vento local);
- Na área identificada como 4 (figura II.2-3), há uma mudança abrupta de comportamento do mesmo, mudança esta associável ao padrão de vento (que se intensifica para norte neste período), fazendo com que o conjunto de dados passe a responder a um padrão já típico de inverno (área 5).

Há algumas explicações possíveis para o comportamento deste conjunto de dados nas áreas 3 e 4 (PETROBRAS, 2004). Entretanto, devido às questões acima mencionadas e considerando-se também a existência de dados confiáveis no início e final da campanha, optou-se neste texto por considerar apenas para análise os períodos identificados como 1 e 5, sendo que a área 1 corresponde a um período de verão e a área 5 a um período de inverno.

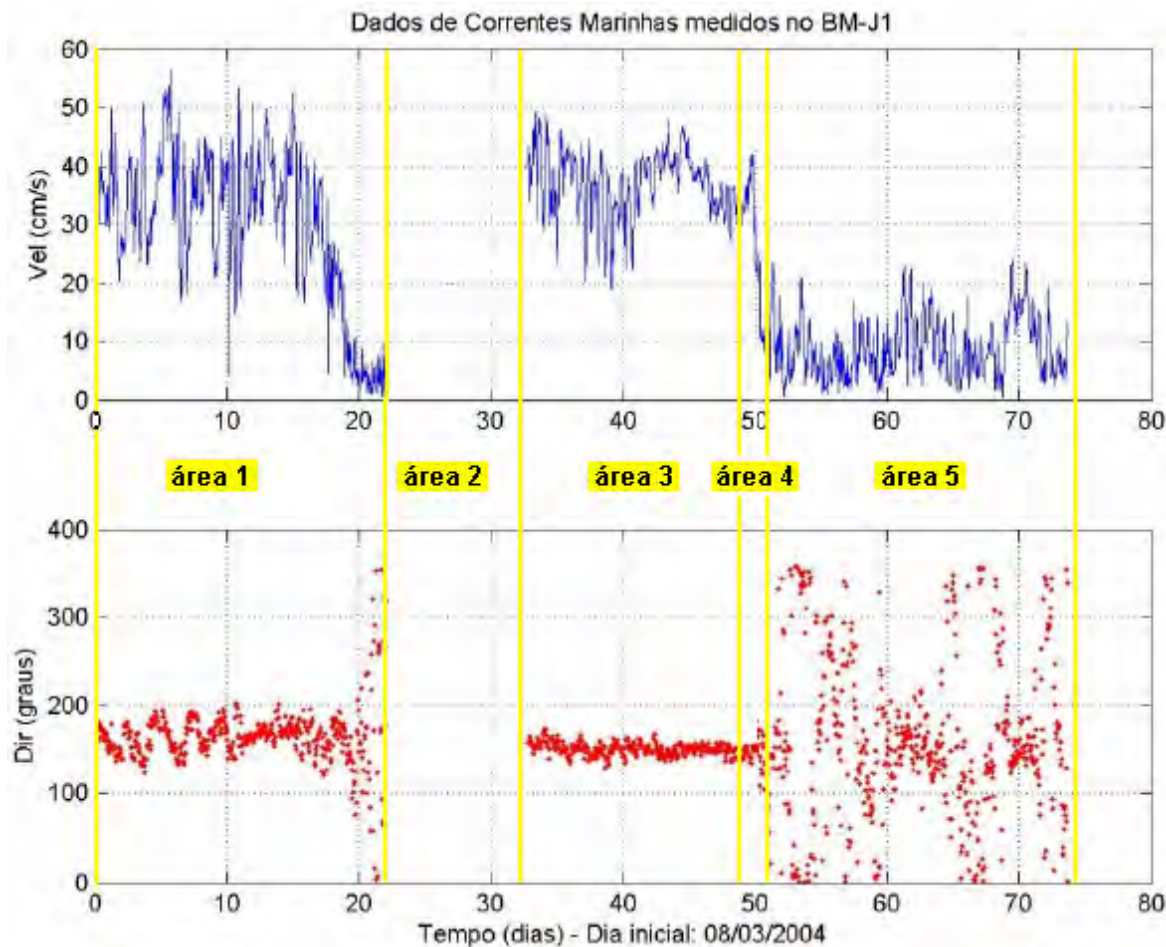


Figura II.2-3 - Variação das correntes superficiais na locação do BMJ-1 ao longo da amostragem, de 08/03 a 20/05 (adaptado de PETROBRAS, 2004).

Os dados característicos do período de verão (março de 2004) indicam um padrão de correntes superficiais com intensidade média de 0,34 m/s, predominantemente para sudeste, como ilustrado na figura II.2-4 (a direção apresentada refere-se ao norte geográfico, a intensidade é apresentada em m/s, enquanto as escalas de cores representam o número e a porcentagem de observações).

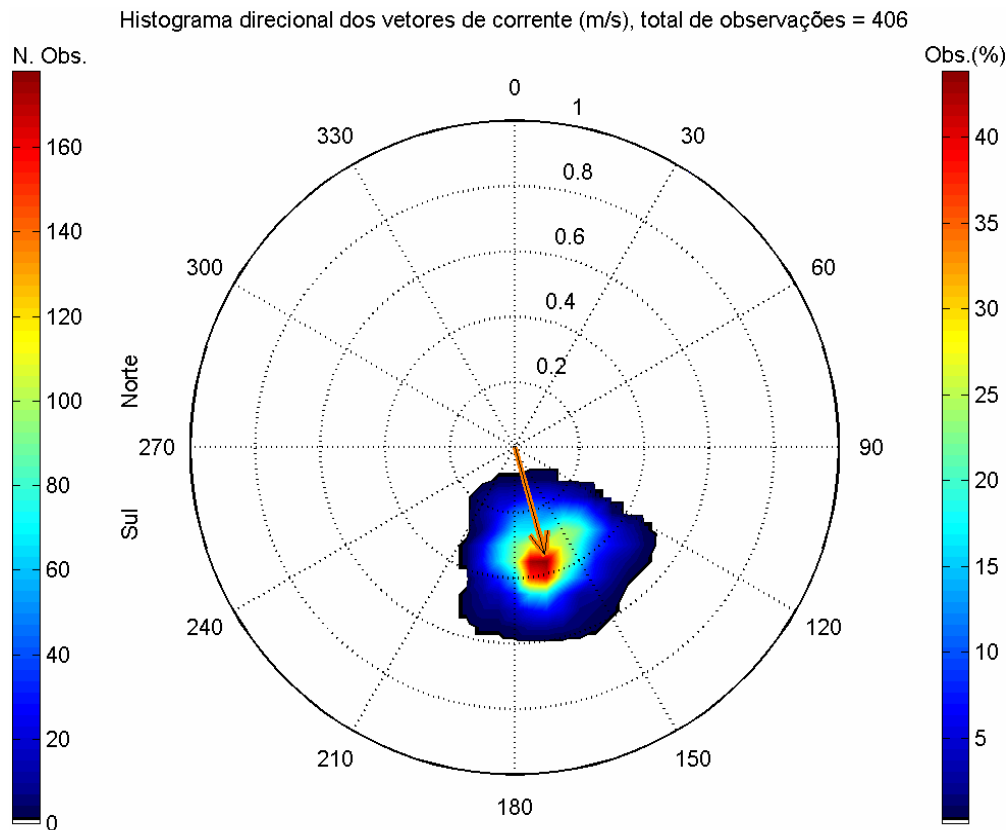


Figura II.2-4 - Histograma direcional dos vetores de corrente medidos nas coordenadas $15^{\circ}04'59,3''S$ e $38^{\circ}43'50,6''W$, na superfície, para o período de 8 a 25 de março de 2004.

A figura II.2-5 apresenta uma comparação entre os dados BMJ-1 de superfície e dados de vento INFRAERO medidos no aeroporto de Ilhéus, para o período de 8 a 25 de março de 2004. Neste local, não se observa correlação evidente entre o campo de correntes e o vento local, como ocorrido com os dados medidos em região de plataforma (ADP). A menor correlação entre os dados pontuais de corrente e vento no verão é esperada e explicada pelos mecanismos físicos presentes e sazonalmente predominantes na área. Enquanto no inverno há intensificação do vento médio (proveniente de S) que se soma às perturbações geradas pelas frentes (também provenientes de S), no verão o padrão médio do vento é menos intenso e menos sujeito à influência dos sistemas frontais que ocorrem ao sul da região. Assim, neste período (verão), há maior estabilização do fluxo de larga escala (remoto) na área, reduzindo o nível de correlação com o vento local.

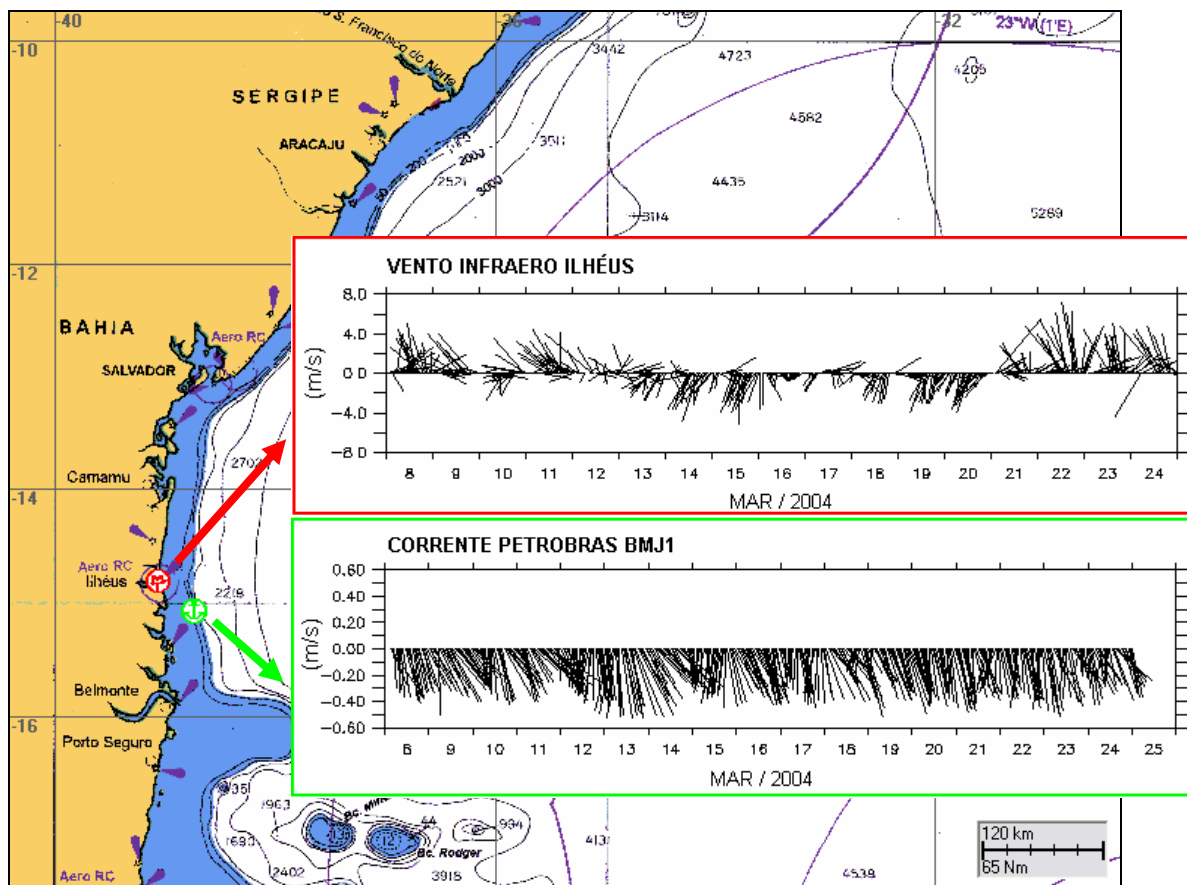


Figura II.2-5 - Comparação entre dados de vento (painel superior) e corrente (painel inferior), obtidos em região de talude, próximo a Ilhéus, durante março de 2004.

Os dados de correntes coletados no ponto BMJ-1 e identificados na área 5, têm comportamento típico de inverno. Entretanto, para caracterizar esta estação do ano optou-se pela utilização dos dados ADP, cuja série temporal é mais longa (análise apresentada nas figuras II.2-1 e II.2-2).

II.3 MARÉS

Os dados de maré apresentados, a seguir, foram obtidos junto a FEMAR⁶. A figura II.3-1 ilustra a localização das estações de onde foram extraídos os dados e gráficos das amplitudes dos principais harmônicos ao longo do litoral da Bahia e Sergipe.

⁶ Fundação de Estudos do Mar.

Esta região, litoral nordeste do Brasil, é reconhecidamente uma área de pouca influência da maré, embora, devido às grandes amplitudes, qualquer reentrância causa fluxos significativos, como as entradas das baías de Camamu e de Todos os Santos, por exemplo. Na figura II.3-1, procurou-se salientar a importância relativa deste sinal oceânico em regiões específicas ao longo da costa, em especial sobre o Parcel de Abrolhos, que devido à expansão da área rasa (plataforma) amplifica significativamente o sinal da maré, contribuindo para o estabelecimento de um padrão típico na circulação costeira ao longo de toda a costa.

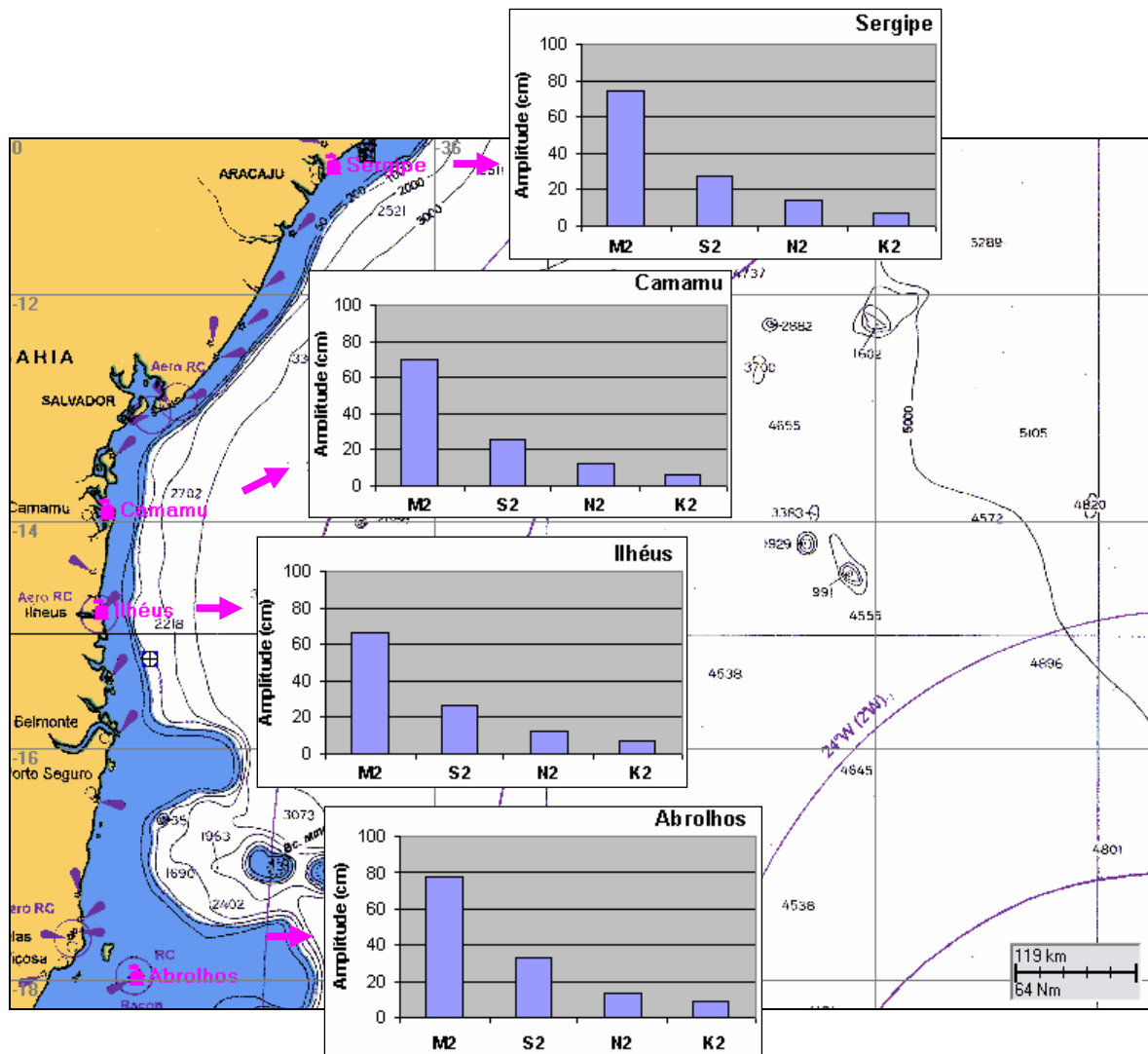


Figura II.3-1 - Amplitude dos principais harmônicos de maré ao longo da costa da Bahia e Sergipe (fonte: FEMAR, 2000).

A figura II.3-2 apresenta as constantes harmônicas fornecidas pela FEMAR para a região de Canavieiras (15°41'S; 38°58'W, indicada na figura II.3-3), a partir de uma série temporal medida entre 1º de janeiro e 31 de dezembro de 1955. O componente de maré principal lunar (M_2) é o que apresenta as maiores amplitudes, com 64 cm, seguida pelos componentes principal solar (S_2), com 22,5 cm, e N_2 , com 8,6 cm.

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR <i>Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras</i>					
Nome da Estação :		CANAVIEIRAS – BA			
Localização :		Próximo à foz do Rio Canavieiras, em frente a Praça da Bandeira			
Organ. Responsável :		IAGS / DHN			
Latitude :		15° 41,0' S	Longitude :		38° 58,0' W
Período Analisado :		01/01/55 a 31/12/55		Nº de Componentes : 60	
Análise Harmônica :		Método Tidal Liverpool Institute.			
Classificação :		Maré Semidiurna.			
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		IV H 30 min	Nível Médio (Z ₀):		102 cm acima do NR.
Médias das Preamares de Sizigia (MHWS) :		188 cm acima do NR.	Média das Preamares de Quadratura (MHWN) :		143 cm acima do NR
Média das Baixa-mares de Sizigia (MLWS) :		15 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) :		60 cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi- amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi- amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	1,0	294	MU ₂	3,7	185
Ssa	3,0	099	N ₂	8,6	132
Mm	2,6	005	NU ₂	5,6	133
Mf	2,0	017	M ₂	64,0	116
MTM	-	-	L ₂	3,1	090
Msf	4,7	016	T ₂	1,1	127
Q ₁	3,0	088	S ₂	22,5	135
O ₁	6,4	135	K ₂	6,8	127
M ₁	0,2	085	MO ₃	0,4	105
P ₁	1,5	226	M ₃	0,6	235
K ₁	3,4	207	MK ₃	0,6	235
J ₁	0,3	013	MN ₄	1,5	084
OO ₁	0,2	011	M ₄	2,8	087
MNS ₂	1,3	208	SN ₄	0,8	127
2N ₂	2,1	085	MS ₄	2,1	091
Referências de Nível: RN-1 instalada no pier em frente a Praça da Bandeira. RN 4 instalada na calçada à esquerda da Prefeitura Municipal.					
Obs: Outros Períodos: 03/11/52 a 06/11/53					
Código BNDO: 40151					
- 151 -					

Figura II.3-2 - Amplitude (cm) e fase local (°) das principais componentes harmônicas para a estação maregráfica da FEMAR em Canavieiras (BA). Fonte: FEMAR (2000).

A figura II.3-3 ilustra uma previsão de maré efetuada para o ano de 2004, com base nos harmônicos apresentados na figura II.3-2. Para esta região, observam-se amplitudes de sizígia em torno de 1 m.

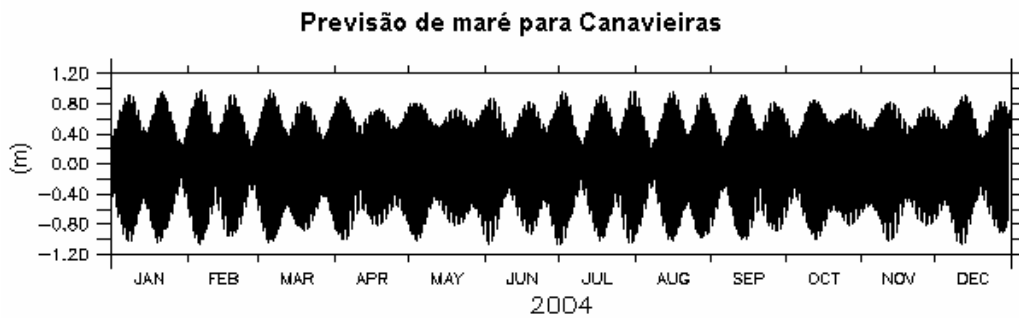


Figura II.3-3 - Série temporal da previsão de elevação do nível do mar, em intervalos horários, no período de 1^o a 31 de janeiro de 2004, para a estação Canavieiras (BA) – FEMAR.

III MODELAGEM HIDRODINÂMICA

O código numérico em uso, baseado no POM (Anexo A) e implementado pelo grupo de modelagem da **ASA South America**, é o mesmo descrito em trabalhos anteriores (ASA, 2004), diferindo apenas em relação a alterações específicas nas condições de contorno e no *setup* das condições iniciais do modelo. A implementação aqui apresentada utiliza como forçantes principais o campo termohalino e baroclínico de fundo projetado de um modelo de larga escala (OCCAM), campos tridimensionais de ventos (Reanálise do NCEP) e as principais componentes de maré, originárias do CSR3⁷.

III.1 PROCEDIMENTOS DE AQUECIMENTO (WARM UP) DO MODELO

O procedimento de aquecimento do modelo baseou-se no acompanhamento da variação da energia cinética da simulação. Nesta modelagem, observou-se que a estabilização do modelo ocorreu ao final de um mês de simulação. Assim, a simulação longa foi realizada por 13 meses, (iniciando em dezembro de 2003), descartando-se o primeiro mês (período de estabilização do modelo).

III.2 DADOS DE ENTRADA

III.2.1 Dados de Vento

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

⁷ Modelo global de maré do *Center for Space Research* da Universidade do Texas.

1. Representatividade dos padrões dinâmicos típicos para a região;
2. Disponibilidade de séries temporais simultâneas de ventos, de elevação de superfície e de correntes medidas na região de interesse, necessárias para forçar, calibrar⁸ e avaliar o modelo hidrodinâmico.

Os dados de corrente disponíveis para a realização do presente estudo são referentes ao ano de 2004, assim, dados de vento foram obtidos na região para o mesmo ano. Para verificar se o ano de 2004 seria um ano adequado para realizar as simulações numéricas, uma série temporal de dados do vento para este ano, extraída da reanálise do NCEP, obtidos a 10 m de altura para o ponto mais próximo da região de estudo (14,3°S / 39,4°W), foi analisada e sua intensidade média mensal (figura III.2.1-1) foi comparada àquela obtida para a série histórica de 30 anos (1979 a 2008), apresentada no Subitem I.1.1.

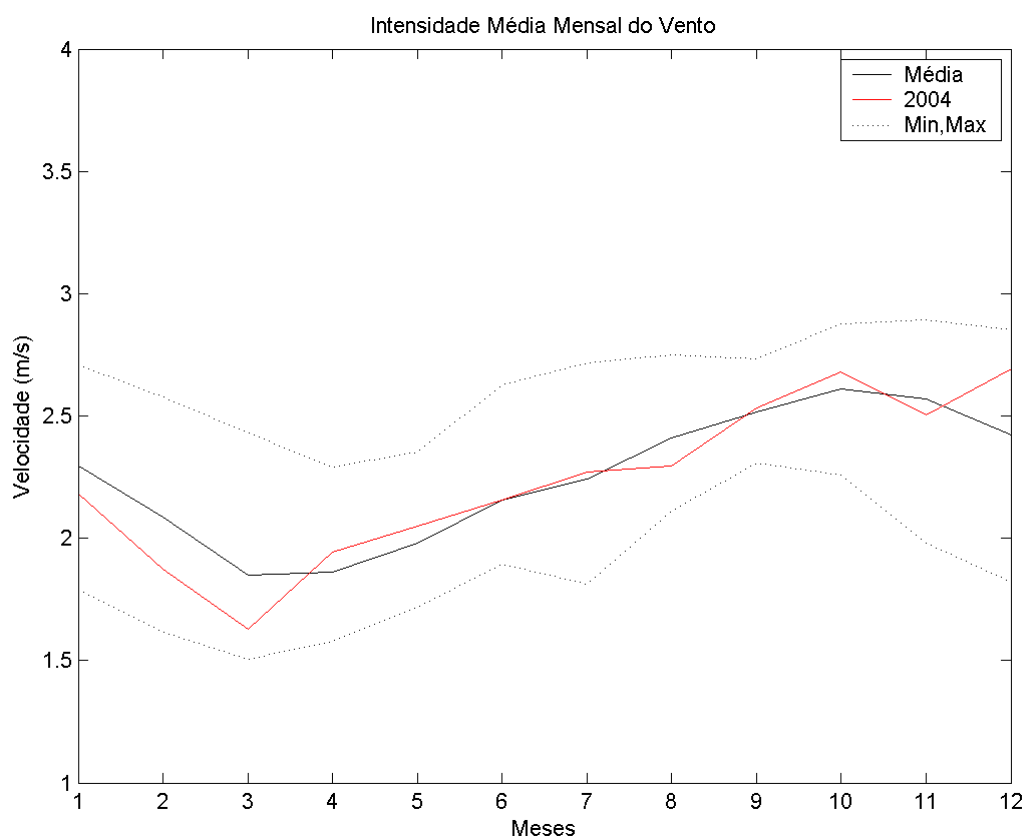


Figura III.2.1-1 - Intensidade média mensal do vento para o período de 1979 a 2008 e para o ano de 2004.

⁸ O procedimento de calibração não é apresentado no relatório, mas os dados disponíveis também podem ser utilizados com este propósito.

A figura III.2.1-1 indica que a intensidade média mensal em 2004 se manteve próxima à média dos 30 anos analisados, indicando que o mesmo é um ano representativo dos padrões dinâmicos médios da região, apropriado para ser utilizado nas simulações de derrame de óleo.

O campo de vento utilizado como forçante do modelo hidrodinâmico foi gerado a partir de uma composição entre séries temporais pontuais de dados costeiros obtidos junto à INFRAERO (no caso 3 séries localizadas em Ilhéus, Salvador e Aracaju) e resultados extraídos de Reanálise do modelo de circulação geral do NCEP. A figura III.2.1-2 ilustra um instante deste campo de vento, já projetado na grade do modelo.

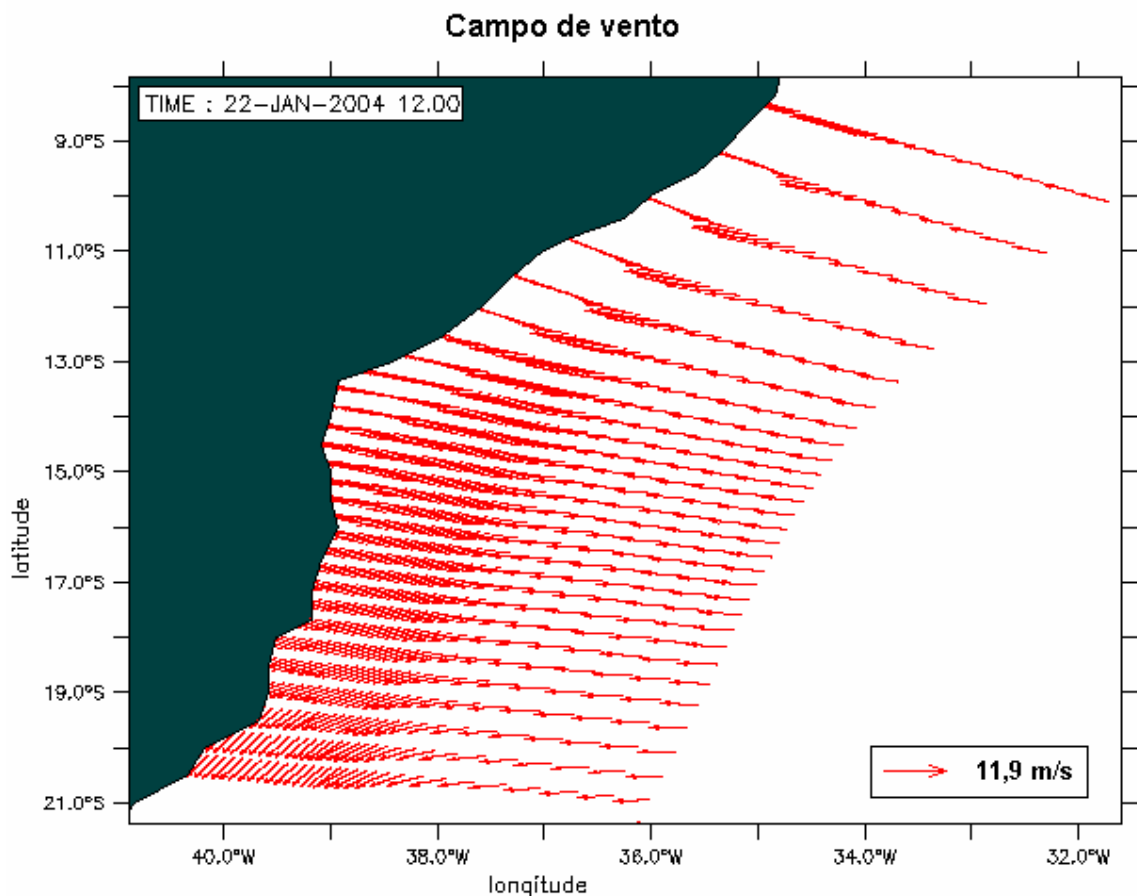


Figura III.2.1-2 - Campo de vento NCEP projetado na grade do modelo hidrodinâmico.

III.2.2 Estrutura Termohalina

Os campos de temperatura e salinidade, utilizados para inicialização do campo baroclínico do POM, foram obtidos a partir de resultados do OCCAM. A figura III.2.2-1 ilustra estes campos, projetados na grade do modelo, para um instante de verão.

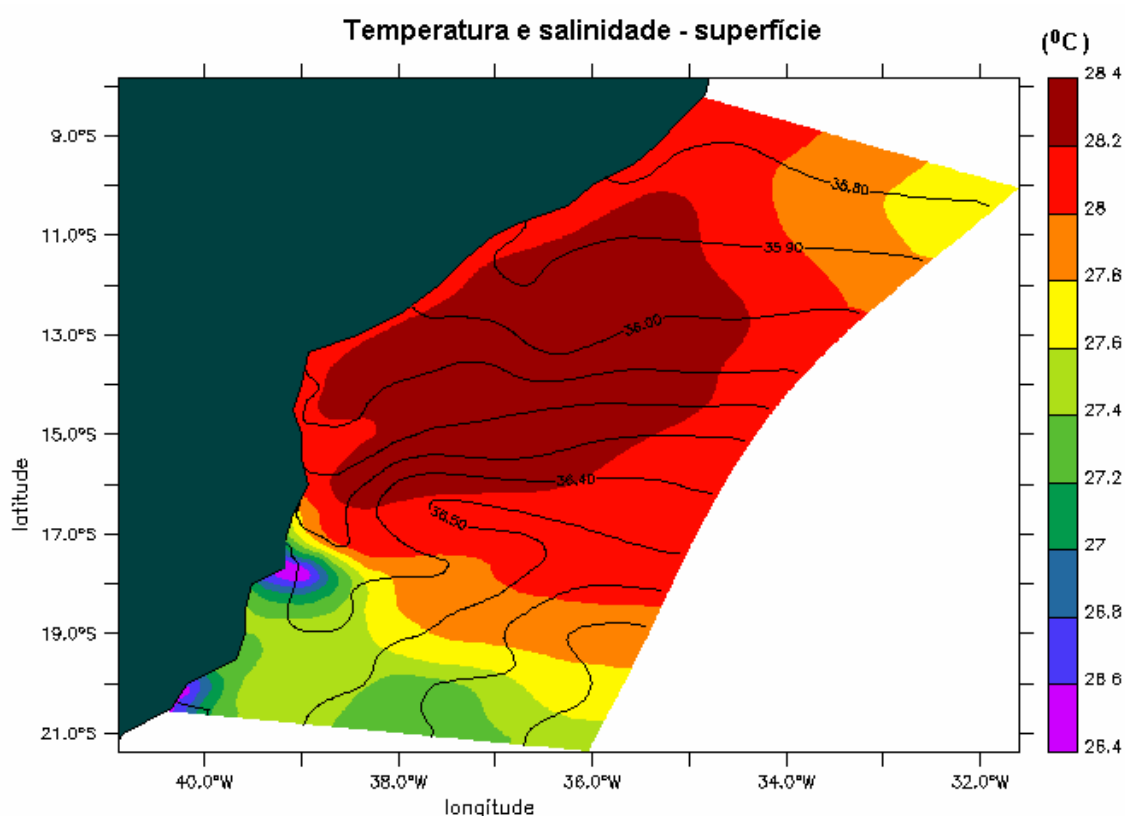


Figura III.2.2-1 - Campos de temperatura e salinidade projetados na grade do modelo hidrodinâmico.

III.2.3 Marés

O campo de harmônicos utilizado como forçante para o POM é proveniente do CSR3 (www.csr.utexas.edu), que por sua vez baseia-se em conjunto de dados (*tracks*) de satélite (Topex/Poseidon). Este campo foi projetado em toda a grade numérica, deixando as informações de marés disponíveis em todo o domínio, mas as mesmas foram usadas somente nos contornos abertos. Este procedimento

também facilita a utilização destas informações quando se tem interesse em reduzir o domínio modelado, permitindo focalizações automáticas em áreas de interesse.

Foram utilizados campos com variação espacial de amplitude e fase das componentes de maré mais significativas na região, com energia superior a 10% da energia da M_2 , no caso, as diurnas e semi-diurnas. A figura III.2.3-1 ilustra a amplitude e fase da componente M_2 , projetada na grade do modelo.

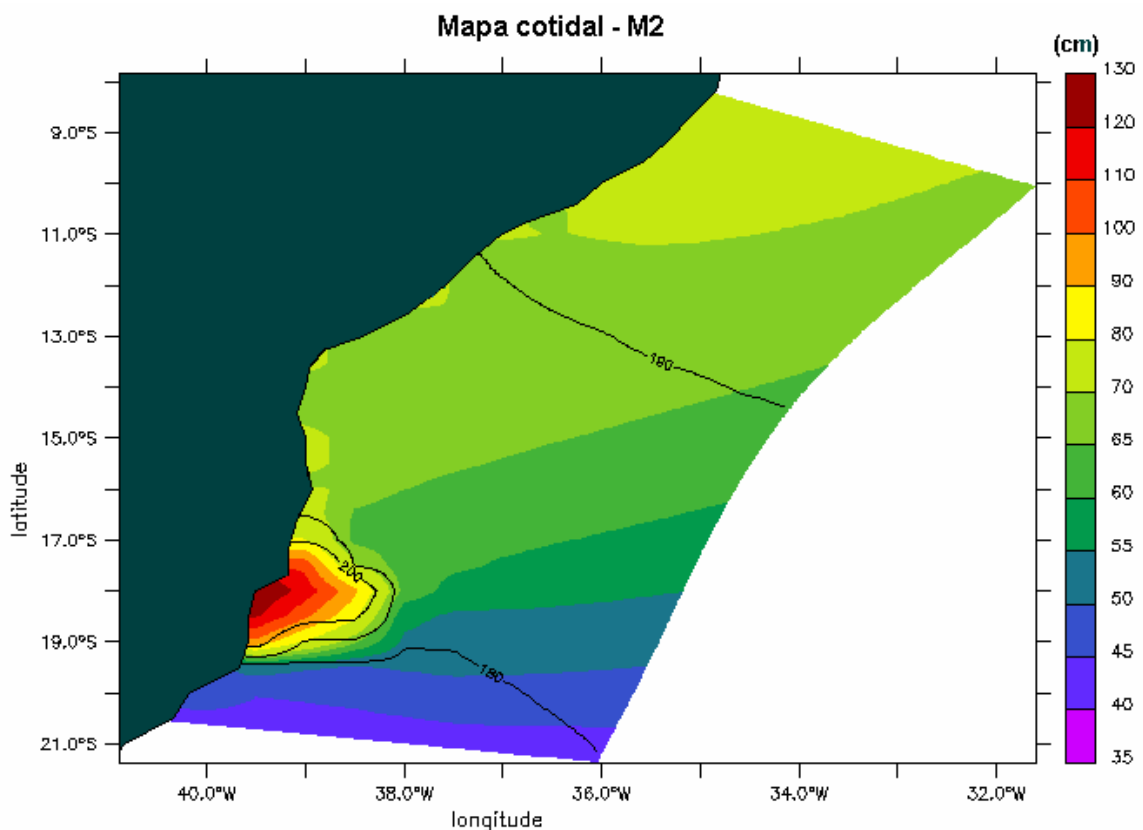


Figura III.2.3-1 - Mapa cotidal, com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude de maré, projetado na grade do modelo hidrodinâmico (escala de cores com espaçamento irregular).

III.3 DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO

A modelagem hidrodinâmica teve como objetivo a reprodução da circulação da região costeira, talude e oceano profundo ao largo das bacias de Jequitinhonha e Camamu-Almada. Assim, foi considerado um domínio de larga

escala, com maior grau de adensamento sobre as regiões de transição entre a plataforma e oceano profundo, *i.e.* talude continental. A grade final gerada para o litoral da Bahia possui dimensão horizontal máxima de 140x350x24 pontos, com resolução espacial média de 2,5 km na área em foco (figura III.3-1).

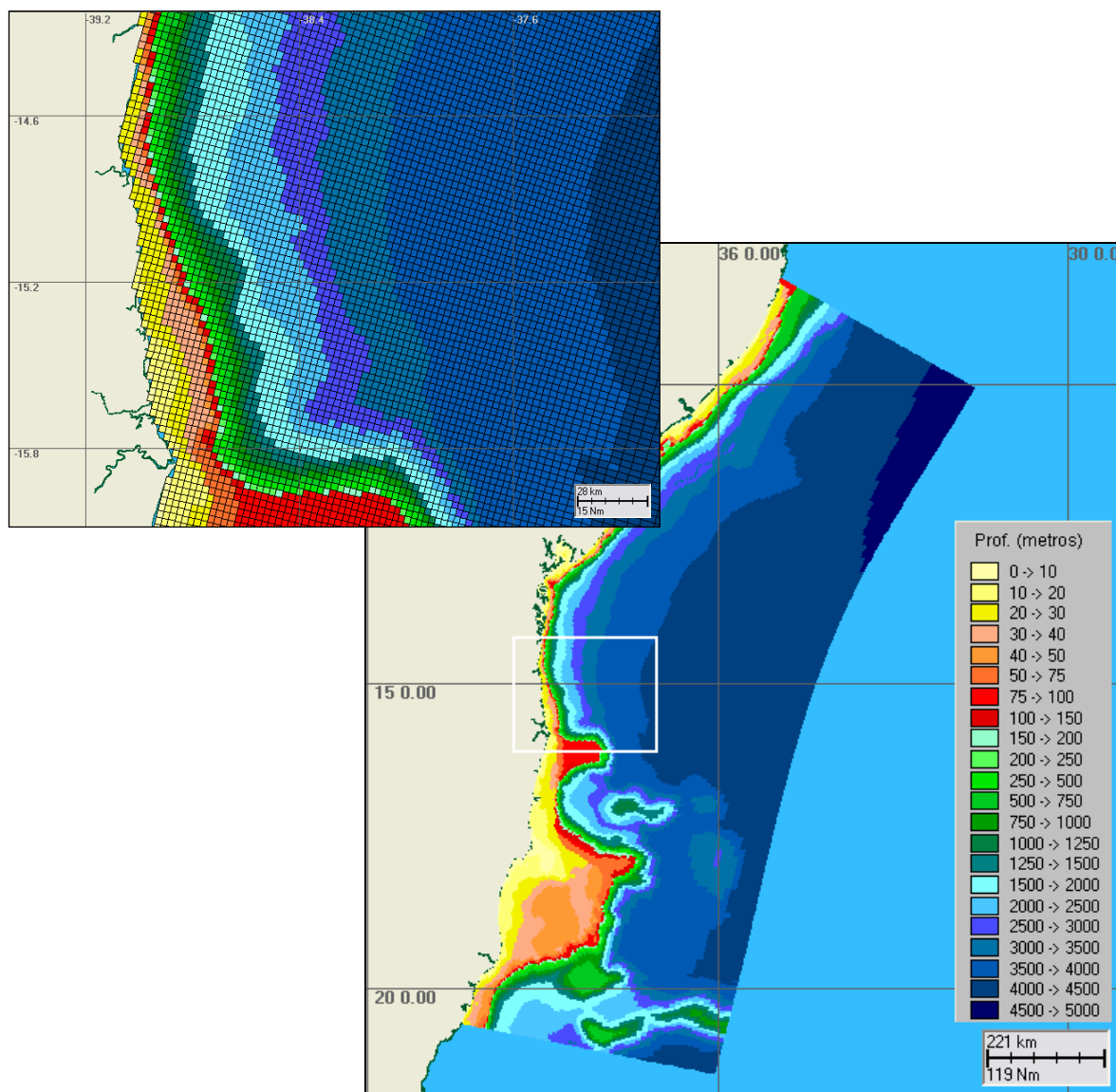


Figura III.3-1 - Batimetria projetada no domínio considerado no modelo hidrodinâmico para as bacias de Camamu-Almada e Jequitinhonha.

A grade geral implementada representa a atualização de um compromisso entre os objetivos do projeto, a capacidade computacional atual e a descrição dos processos hidrodinâmicos relevantes para a região de interesse.

Os dados de profundidade foram obtidos através da digitalização dos valores batimétricos das cartas náuticas da DHN⁹ números 1, 1.100, 1.131 e 1.200, para a região das bacias Camamu-Almada e Jequitinhonha, e complementados em águas profundas com dados do ETOPO2, do NGDC/NOAA¹⁰.

Em relação a discretização da batimetria no domínio modelado, agregam-se às características dinâmicas e morfológicas locais, questões relacionadas à ausência e/ou baixa qualidade de dados batimétricos/altimétricos da região. Em regiões não hidrografadas ou com baixa qualidade/resolução nos dados, foram usados recursos como o georreferenciamento de fotos de satélite, relatos de navegantes, entre outros, para complementar os níveis requeridos à base de dados da **ASA South America** na região, visando o ajuste fino da batimetria à linha de costa (figura III.3-1).

III.4 AVALIAÇÃO DO MODELO HIDRODINÂMICO

A metodologia de validação fundamenta-se na avaliação do modelo quanto à sua capacidade de reprodução da circulação na região em estudo. Neste relatório são apresentadas comparações entre dados e resultados do modelo hidrodinâmico em pontos sobre a plataforma continental, onde predominam os sinais de maré e vento. Sobre o talude e oceano aberto, área com maior presença de variabilidades de larga escala, apesar da ausência de dados, procurou-se também apresentar comparações entre os resultados conhecidos na área e os resultados do modelo, identificando questões principalmente relacionadas à bifurcação da Corrente Sul-Equatorial e a variabilidade sazonal (espacial e vertical) da Corrente Norte do Brasil.

Para a validação do modelo hidrodinâmico foram realizadas rodadas referentes aos anos de 2003 e 2004, de acordo com a disponibilidade de dados. Enquanto que para a modelagem de dispersão de óleo foi realizada uma rodada completa de 1 ano com o modelo hidrodinâmico.

⁹ Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha.

¹⁰ *National Geophysical Data Center da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).*

III.4.1 Avaliação para o Nível do Mar

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

$$\frac{RMS}{\bar{A}} \quad (III.4.1-1)$$

onde

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

\bar{A} = range médio do dado;

P = previsão;

O = observação.

O conjunto de dados de maré utilizado nesta comparação consiste em uma previsão harmônica realizada com constantes fornecidas pela FEMAR para a região de Canavieiras (15°41'S e 38°58'W), para os períodos de verão (3 de fevereiro a 19 de março de 2004) e de inverno (3 a 20 de junho de 2004).

A figura III.4.1-1 mostra uma comparação entre o resultado do processamento da variável elevação calculada pelo modelo (vermelho) e a série temporal da previsão (azul) para o período de verão. Observa-se, nesta figura, boa concordância, tanto na amplitude quanto na fase, entre os resultados obtidos com o modelo e a previsão de maré. O coeficiente de comparação (ou erro percentual) obtido foi de 10,1%.

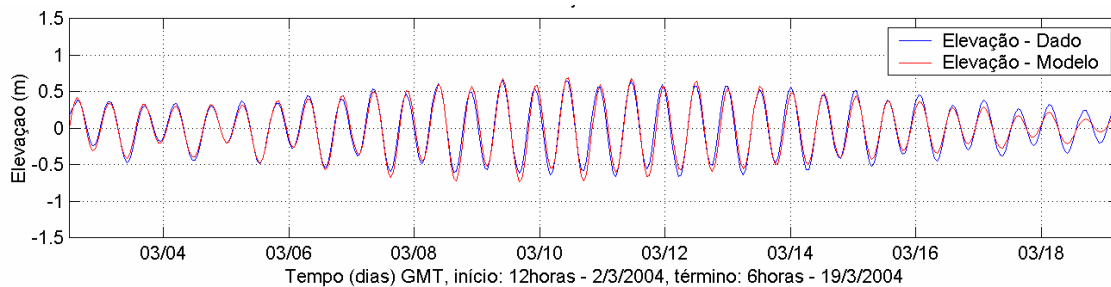


Figura III.4.1-1 - Série temporal de previsão de maré (azul) e a elevação calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 3 de fevereiro a 19 de março de 2004 (verão).

A figura III.4.1-2 mostra uma comparação entre o resultado do processamento da variável elevação calculada pelo modelo (vermelho) e a série temporal de previsão (azul) para o período de inverno. Também se observa, nesta figura, boa concordância, tanto na amplitude quanto na fase, entre os resultados obtidos com o modelo e a previsão de maré. O coeficiente de comparação (ou erro percentual) obtido foi de 14,9%. A diferença observada entre os ajustes do nível para verão e inverno deve-se, principalmente, à interação entre a maré e a variabilidade diurna introduzida pelo vento, intensificada no inverno na região.

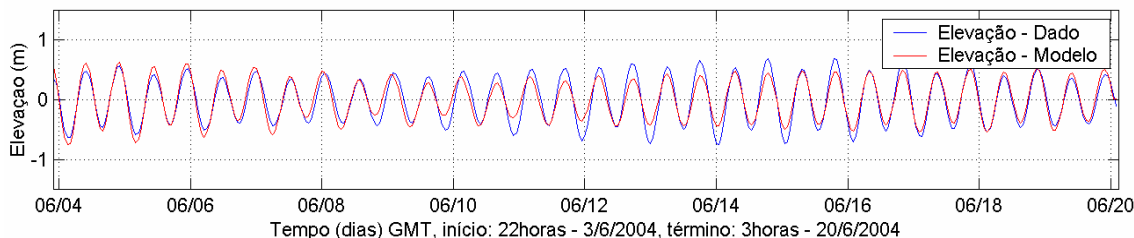


Figura III.4.1-2 - Série temporal de previsão de maré (azul) e a elevação calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 3 a 20 de junho de 2004 (inverno).

III.4.2 Avaliação para as Correntes

A avaliação das informações de correntes geradas pelo modelo hidrodinâmico foi realizada com os dados obtidos na Bacia de Jequitinhonha, no talude (BMJ-1, em 15°04'59,3"S e 38°43'50,6"W). Estes dados são relativos ao período de 8 a 25 de março de 2004, característicos da dinâmica de verão para a região. Foi efetuada uma validação para o período de inverno, utilizando os dados coletados no ponto ADP, em região de plataforma (13°35,7'S e 38°49,03'W) entre 22 de maio a 28 de junho de 2003.

A figura III.4.2-1 apresenta a comparação entre o resultado do modelo numérico (linhas finas) e a série dos dados (linhas espessas) durante o período de verão, para as componentes u (E-W) e v (S-N), além dos respectivos diagramas *stick plot*. Observa-se boa concordância entre observações e simulação numérica, com a circulação superficial caracterizada por um intenso fluxo para sul-sudeste, associado à Corrente do Brasil, não apresentando inversões de direção.

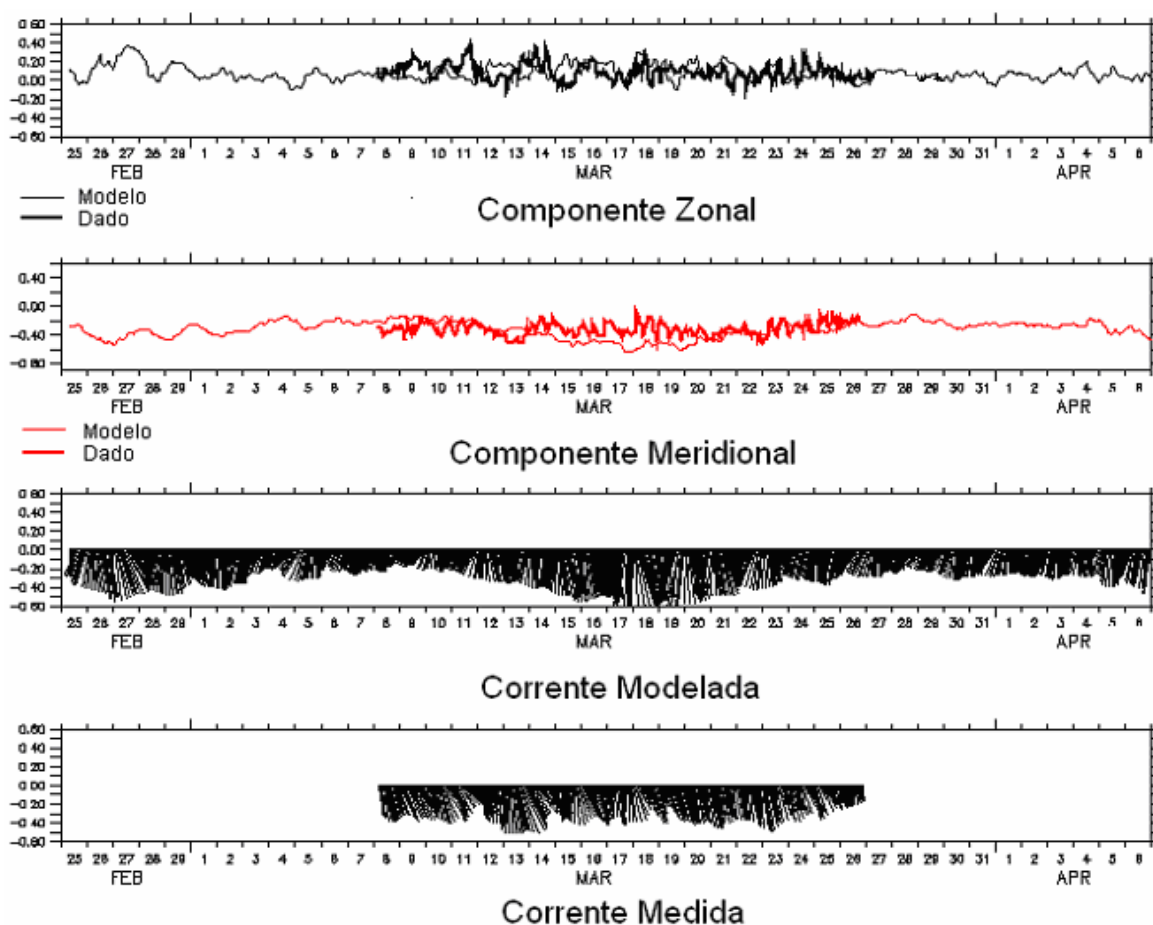
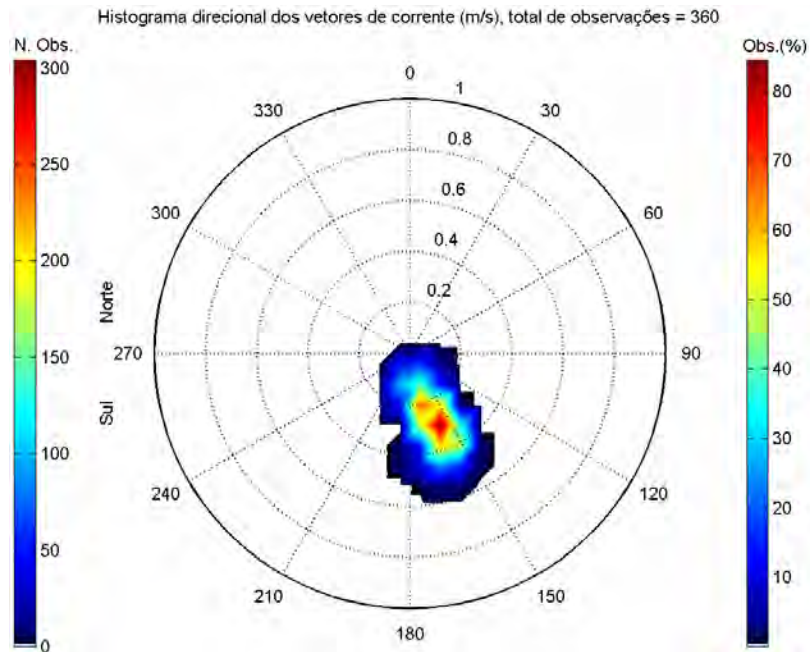


Figura III.4.2-1 - Série temporal das componentes u e v e diagramas *stick plot* das velocidades medidas e calculadas pelo modelo entre os dias 6 e 31 de março de 2004 (verão).

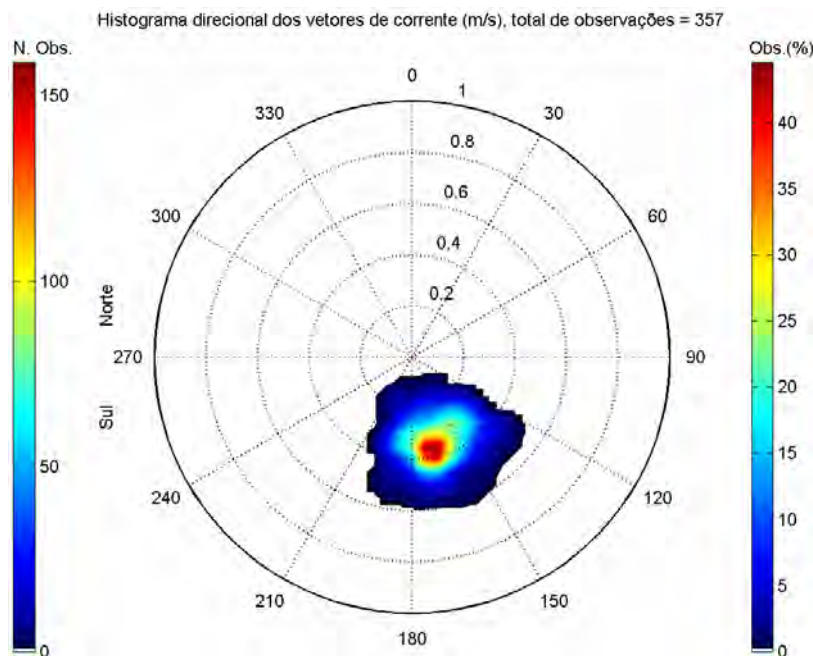
A figura III.4.2-2 apresenta os histogramas direcionais para dados e modelo, no período de 8 a 25 de março de 2004, a 20 m de profundidade (a direção apresentada refere-se ao norte geográfico, a intensidade é apresentada em m/s, enquanto as escalas de cores representam o número e a porcentagem de observações). A intensidade média do modelo foi 0,28 m/s, enquanto que os

dados mostram uma intensidade média de 0,34 m/s, sendo o erro de aproximadamente 18%. A direção média dos resultados do modelo apresenta boa concordância com a dos dados; o modelo apresenta direção média de 160° (SSE) e os dados mostram uma direção média de 168° (SSE/S).



Direção em graus a partir do norte geográfico, intensidade da veloc. média = 0.28 m/s

(a) modelo



Direção em graus a partir do norte geográfico, intensidade da veloc. média = 0.34 m/s

(b) dado

Figura III.4.2-2 - Histogramas direcionais dos vetores de correntes (a) calculadas pelo modelo e (b) medidas, entre os dias 20 e 28 de março de 2004 (verão).

A figura III.4.2-3 apresenta a comparação entre o resultado do modelo numérico (linhas finas) e a série dos dados (linhas espessas) para o período de inverno, na plataforma, para as componentes u (E-W) e v (S-N) e os respectivos diagramas *stick plot*.

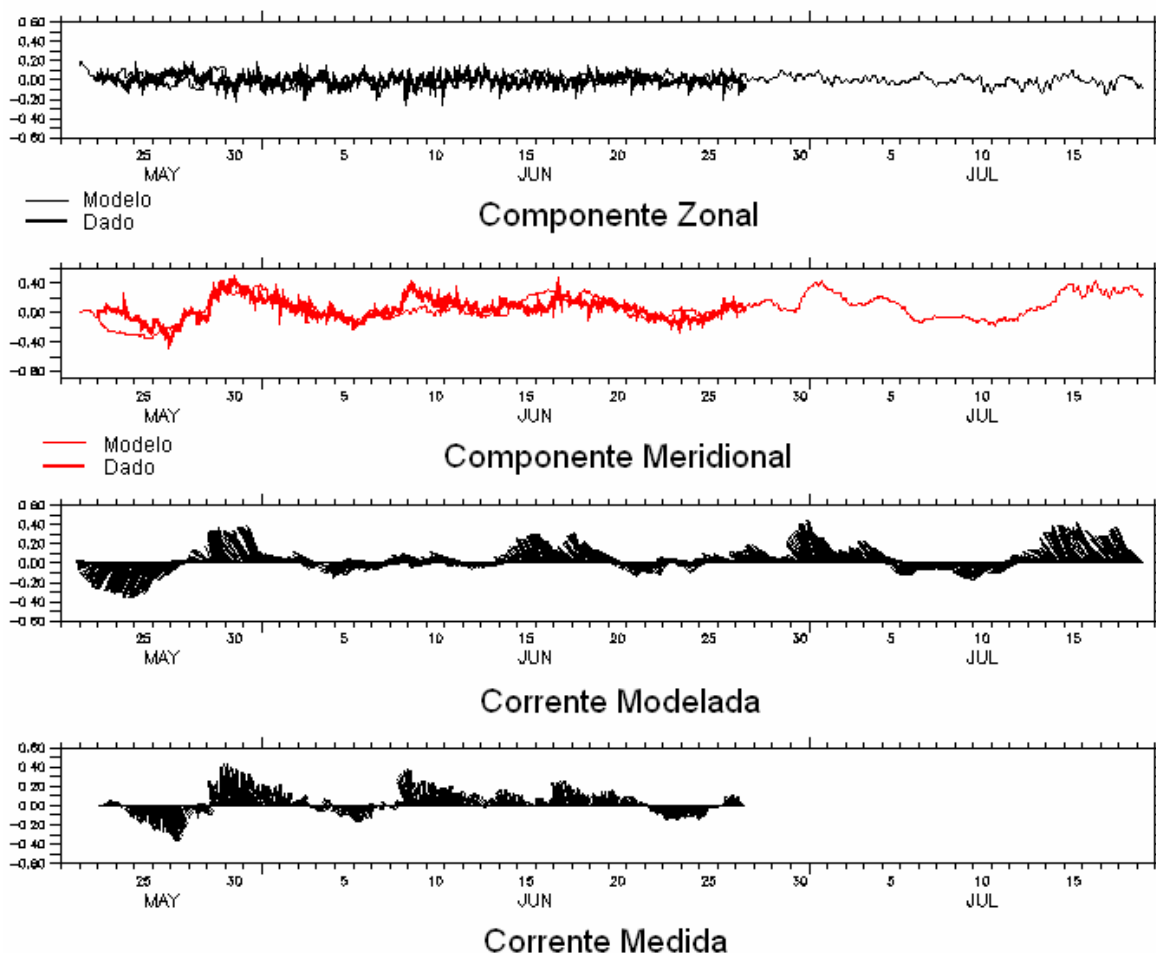


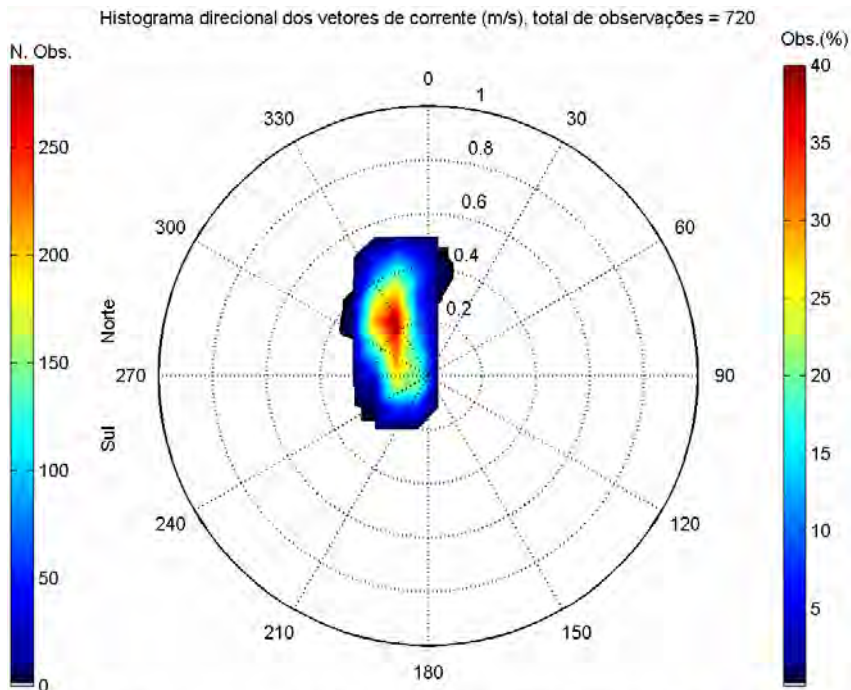
Figura III.4.2-3 - Série temporal das componentes u e v e diagramas *stick plot* das velocidades medidas e calculadas pelo modelo entre os dias 22 de maio a 28 de junho de 2003 (inverno).

A dinâmica de inverno, na região de plataforma, mostra um padrão distinto do observado para o verão, no talude. A circulação de superfície é marcada por um fluxo médio para sul com diversas reversões para norte/noroeste. Estas reversões podem ser atribuídas em parte a alterações observadas no regime de ventos, principalmente junto à costa (indicado na figura II.2-2) e também a sazonalidade observada na circulação de sub-superfície na região.

Schott *et al.* (2005) mostraram que o núcleo da Sub-Corrente Norte do Brasil apresenta variações significativas ao longo do ano, localizando-se mais próximo à superfície no período de inverno. A figura III.4.2-3 indica que o modelo reproduz satisfatoriamente as reversões observadas durante o período. Isto se deve principalmente à composição entre o campo de ventos de grande escala (NCEP) e os ventos costeiros (INFRAERO), utilizados como forçantes, que permite uma reprodução apropriada da dinâmica atmosférica na região.

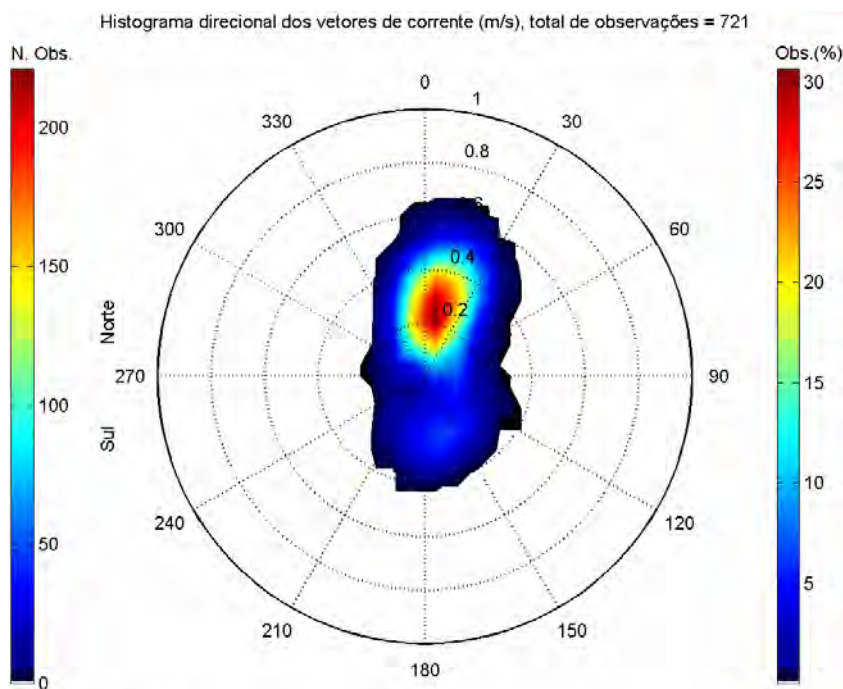
A figura III.4.2-4 apresenta os histogramas direcionais para dados e modelo, no período de 22 de maio a 21 de junho de 2003, a 4 m de profundidade (a direção apresentada refere-se ao norte geográfico, a intensidade é apresentada em m/s, enquanto as escalas de cores representam o número e a porcentagem de observações). A intensidade média do modelo foi igual a 0,2 m/s, a mesma dos dados, embora haja menor espalhamento no modelo. A direção média do modelo apresentou diferença de 30° para oeste, em comparação com os dados. O modelo apresenta direção média de 315° (NNW) e os dados mostram uma direção média de 15° (NNE).

Os resultados apresentados nas figuras III.4.2-2 e III.4.2-4 mostram que o modelo capturou corretamente o padrão médio e a variação sazonal, principal energia identificada na região. Entretanto, especificamente no ponto de medição BMJ-1, objeto da comparação acima apresentado, os gradientes batimétricos na transição entre talude e plataforma continental são pronunciados, gerando estruturas morfológicas locais. A decorrente variabilidade de pequena escala espacial gerada acaba por se refletir na variabilidade temporal em escala de dias a semanas. Esta variabilidade pode ser verificada no espectro de amplitudes das séries temporais das correntes simuladas e medidas no Bloco BM-J-1, entre 8 de março e 20 de maio de 2004 (figuras III.4.2-5 e III.4.2-6). Observa-se boa concordância entre dados e modelo, com a componente meridional mais intensa e a maior parte da energia nas baixas frequências (variabilidades mensal e semanal).



Direção em graus a partir do norte geográfico, intensidade da veloc. média = 0.2 m/s

(a) modelo



Direção em graus a partir do norte geográfico, intensidade da veloc. média = 0.2 m/s

(b) dado

Figura III.4.2-4 - Histogramas direcionais dos vetores de correntes (a) calculadas pelo modelo e (b) medidas, entre os dias 22 de maio a 21 de junho de 2003 (inverno).

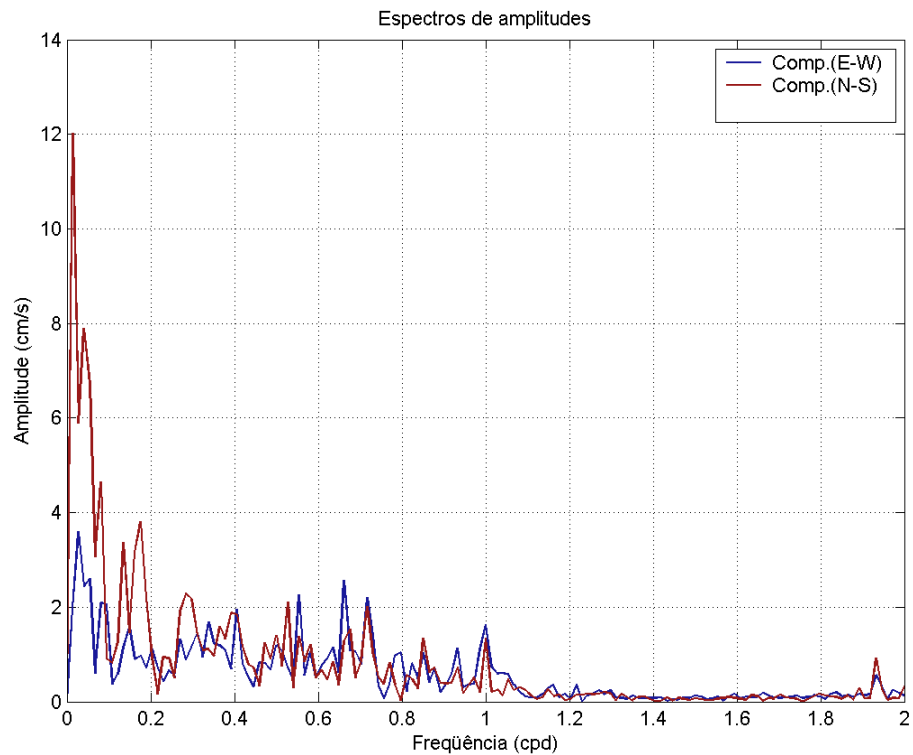


Figura III.4.2-5 - Espectro de amplitudes da série temporal da corrente simulada pelo modelo no Bloco BM-J-1, entre 8 de março e 20 de maio de 2004.

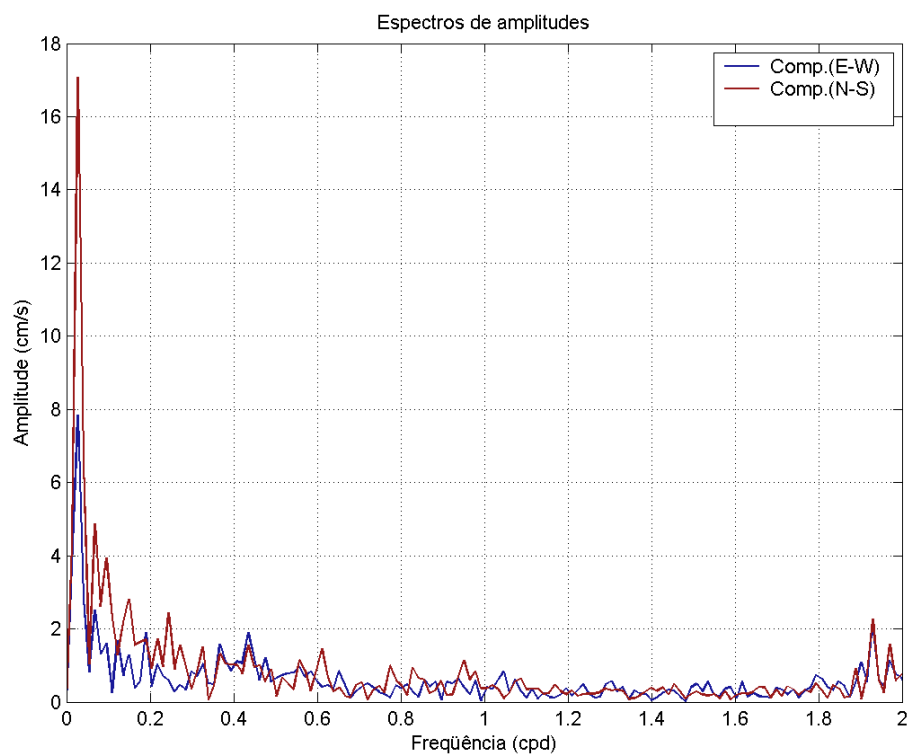


Figura III.4.2-6 - Espectro de amplitudes da série temporal da corrente medida no Bloco BM-J-1, entre 8 de março e 20 de maio de 2004.

A figura II.4.2-7 ilustra um instantâneo do resultado do modelo para a região em que se localiza o ponto de validação BMJ-1, onde se observam as alterações do padrão de corrente, associadas à transição entre talude e plataforma continental.

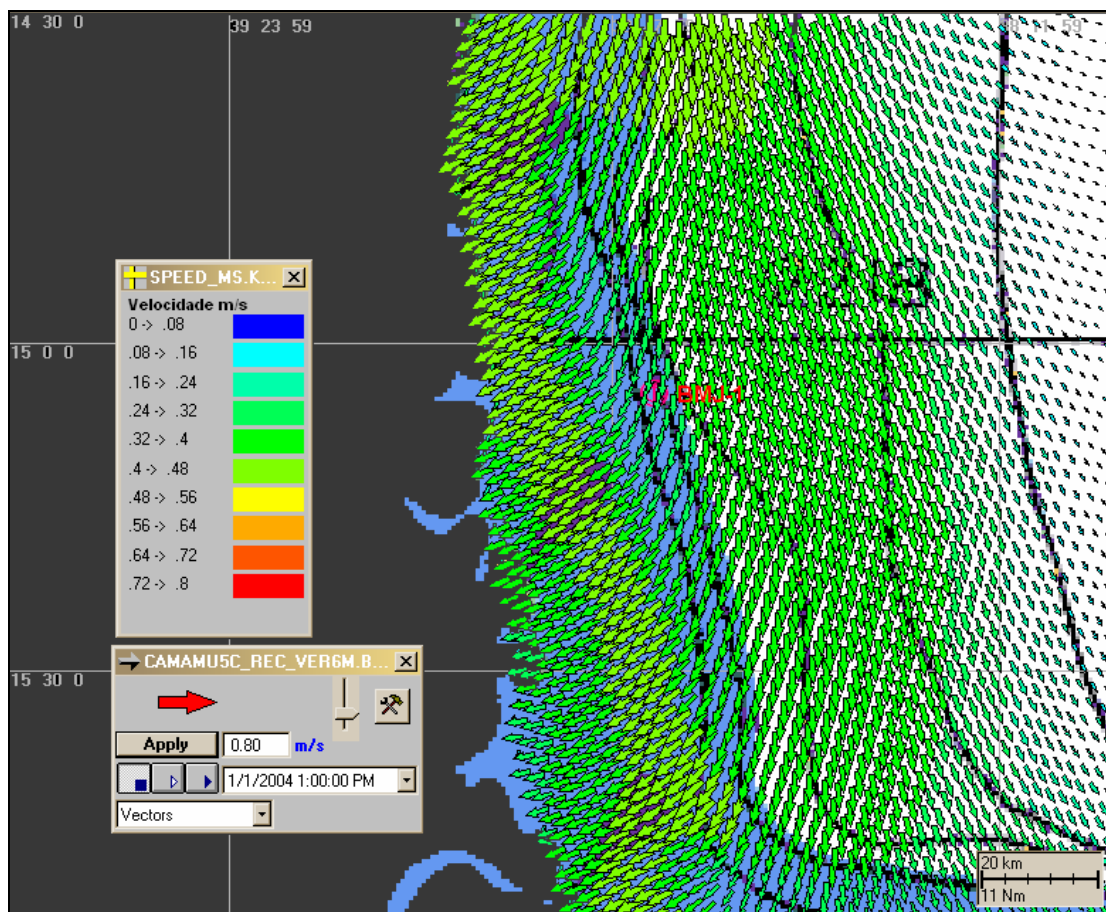


Figura III.4.2-7 - Instantâneo do campo de correntes na região do ponto de validação BMJ-1.

Com o propósito de avaliar a resposta do modelo às energias de segunda ordem de grandeza, foi feita a comparação entre as velocidades residuais dos dados medidos e dos resultados obtidos com o modelo hidrodinâmico. O cálculo é descrito a seguir:

1. Cálculo do valor médio das componentes zonal e meridional das correntes;
2. Subtração dos valores médios das séries temporais das componentes das correntes (velocidades residuais);
3. Cálculo da média das séries temporais das velocidades residuais.

A figura II.4.2-8 apresenta a comparação entre as componentes zonal (u) e meridional (v) das velocidades residuais simuladas pelo modelo e medidas na região do Bloco BM-J-1, considerando o período de 1º de março a 31 de maio de 2004. Considerando valores absolutos (módulo das velocidades), a média para a componente zonal do dado foi igual a 0,08 m/s e a do modelo 0,06 m/s, sendo o erro igual a 25%; a média para a componente meridional do dado foi igual a 0,14 m/s e a do modelo 0,11 m/s, sendo o erro igual a 21%.

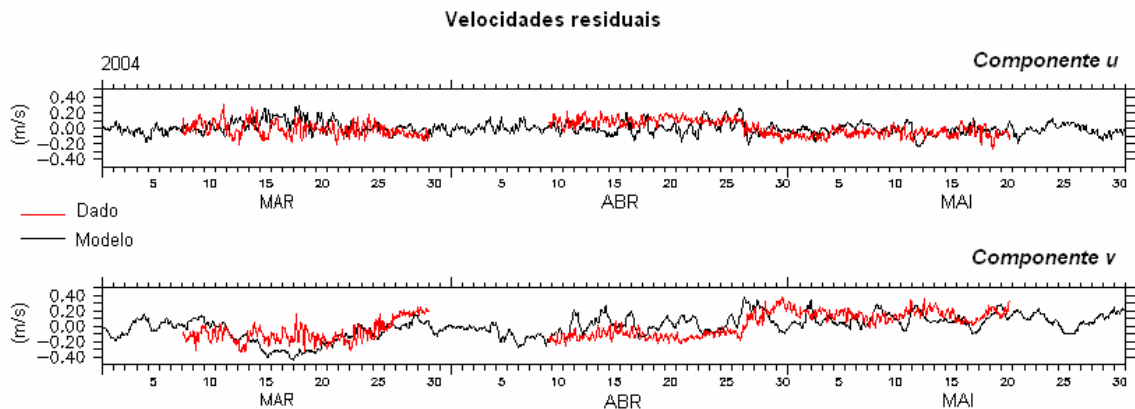
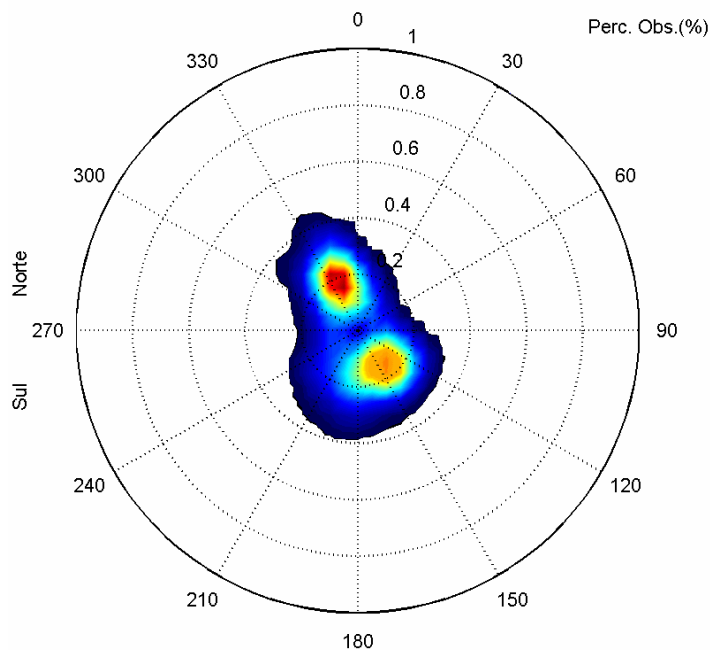


Figura III.4.2-8 - Séries temporais das componentes u e v das velocidades residuais dos dados (vermelho) e modelo (preto), de 1 de março a 31 de maio de 2004, no Bloco BM-J-1.

Para facilitar a visualização da direção preferencial da velocidade residual, foram calculados os histogramas direcionais dos vetores de correntes das séries apresentadas na figura II.4.2-9. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico, a intensidade é apresentada em m/s, enquanto a escala de cores representa a porcentagem de observações. Observa-se que ambos apresentam direção preferencial da velocidade residual para NNW. Os dados apresentam um núcleo secundário na direção SE, e o modelo em SSE.

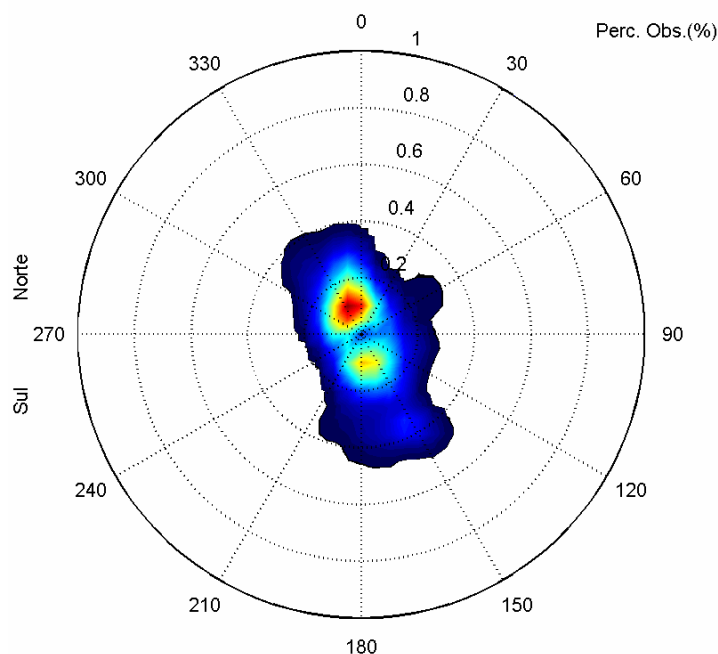
Histograma direcional dos vetores de corrente (m/s), total de observações = 1510



Direção em graus a partir do norte geográfico

(a) dado

Histograma direcional dos vetores de corrente (m/s), total de observações = 2185



Direção em graus a partir do norte geográfico

(b) modelo

Figura III.4.2-9 - Histograma direcional dos vetores de corrente (a) medidos no Bloco BM-J-1, na superfície, para o período de 1 de março a 31 de maio de 2004, e (b) simulados pelo modelo hidrodinâmico nesta mesma região.

Explicam-se as diferenças observadas na energia residual e na direção preferencial associada, pela intensidade e principalmente direção da forçante (vento local) atuante, que possui influencia significativa para esta faixa de frequência (dias a semanas). No inverno há tendência de alinhamento das respostas locais ao padrão de alta frequência observado no vento. No verão há maior predominância dos sinais médios, fazendo com que as respostas do modelo sejam altamente dependentes do posicionamento relativo (horizontal) do ponto de observação.

Nota-se ainda nestes resultados a complementaridade entre o conhecimento acumulado na região (medições) e a modelagem numérica. As novas informações coletadas na área pela PETROBRAS vieram a confirmar os padrões de reversão costeira já mencionados em literatura, permitindo e induzindo avanços no tipo de formulação/modelo implementado na área. Por sua vez, os resultados do modelo apontam e auxiliam o entendimento e planejamento de futuras medições na área, elucidando regiões críticas de transição talude-plataforma.

As figuras III.4.2-10 e III.4.2-11 apresentam instantâneos típicos de inverno e verão dos campos de correntes obtidos para todo o domínio modelado (com 1/16 de resolução da grade). Observa-se, no instante de inverno, uma inversão de fluxo e, no instante de verão, o fluxo deslocando-se de norte para sul, ao longo da costa, com velocidades da ordem de 0,5 m/s. Na figura de verão também estão indicadas duas linhas, de onde foram extraídas as secções verticais da componente da velocidade ao longo da costa, apresentadas nas figuras III.4.2-15 a III.4.2-17.

Os padrões ilustrados na figura III.4.2-6 estão de acordo com a variabilidade anual das condições médias para a circulação oceânica de superfície esperada para a área, como indicam as informações apresentadas nas figuras III.4.2-12 e III.4.2-13 (bóias de deriva rastreadas por satélite), e figura III.4.2-14 (análise estatística baseada em dados). Ambos os conjuntos de dados indicam a ocorrência da BICSE mais a sul nos meses de inverno, o que caracteriza o padrão de verão na região de estudo por fluxos deslocando-se de norte para sul, e o padrão de inverno de sul para norte.

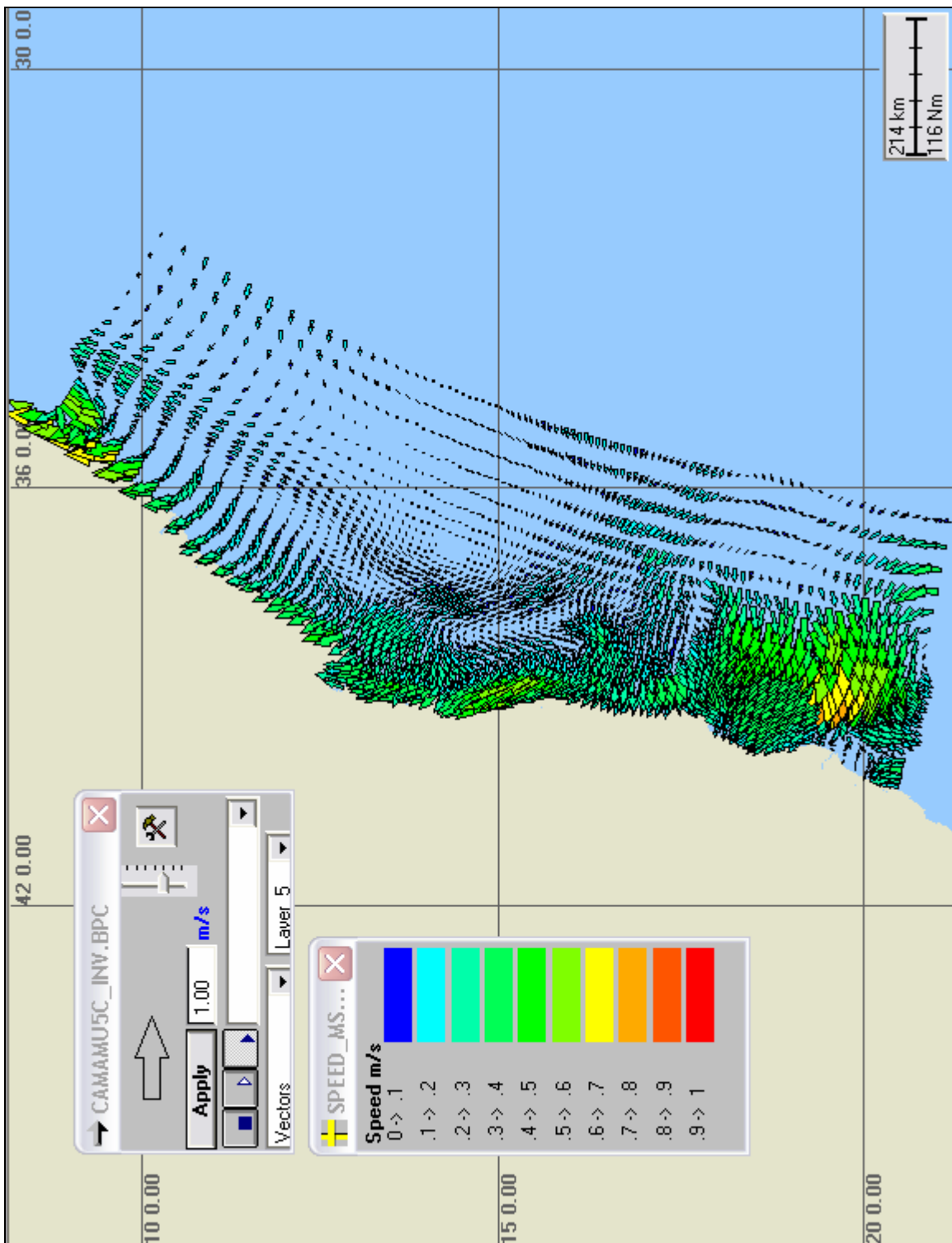


Figura III.4.2-10 - Instantâneo típico de **inverno** do campo de correntes obtidos para todo o domínio modelado (com 1/16 de resolução da grade).

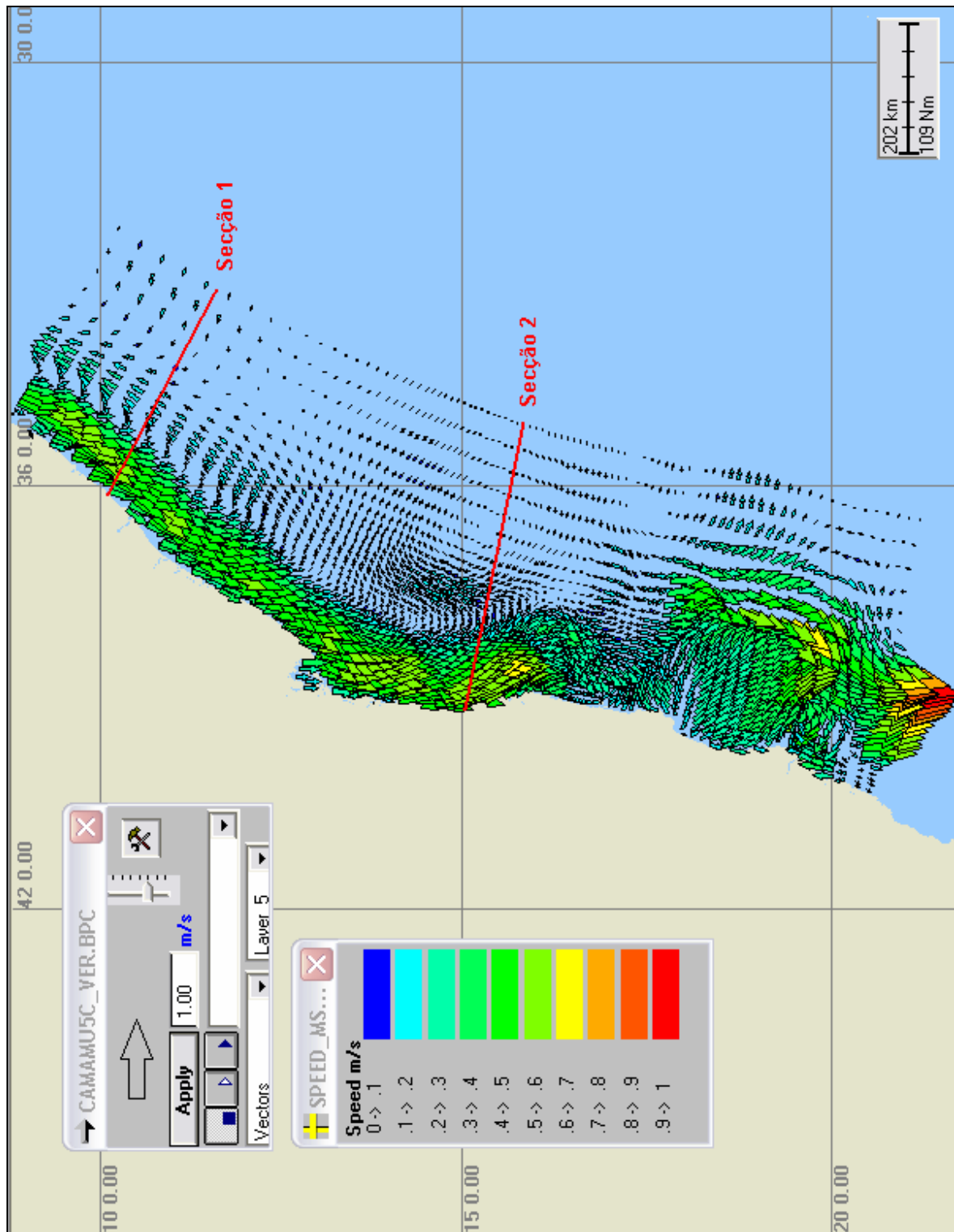


Figura III.4.2-11 - Instantâneo típico de **verão** do campo de correntes obtidos para todo o domínio modelado (com 1/16 de resolução da grade).

Nas figuras III.4.2-12 e III.4.2-13 são apresentados os campos de correntes próximos à superfície relativos às médias mensais (1990 à 2004) dos meses típicos de verão e inverno, respectivamente. Os campos apresentados são oriundos da decomposição, na resolução espacial de 1 grau, dos dados de observação da circulação próxima à superfície, registrada através de uma rede de bóias de deriva rastreadas por satélite (Lumpkin & Garraffo, 2005).

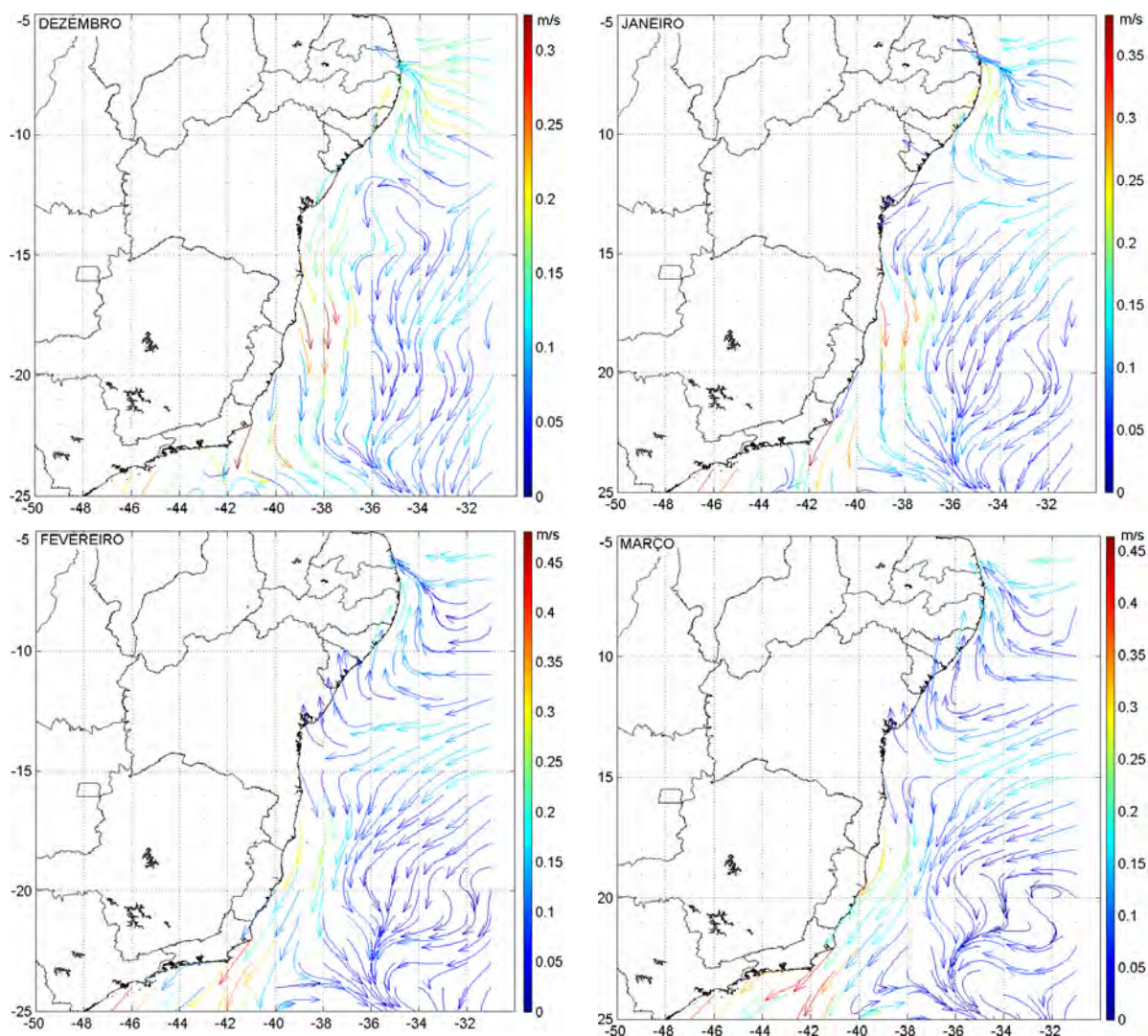


Figura III.4.2-12 - Médias mensais climáticas da circulação próxima à superfície para os meses de dezembro a março.

Observa-se, no litoral sul da Bahia, na região do Banco de Mojiçuiçaba, uma tendência das correntes se afastarem um pouco da costa, voltando a se aproximar já no litoral do Espírito Santo. Nos meses de verão, se observa uma

intensificação do fluxo, mas a partir do final do verão já se observa a BICSE ocorrendo em torno de 15° , influenciando significativamente a circulação nestas regiões.

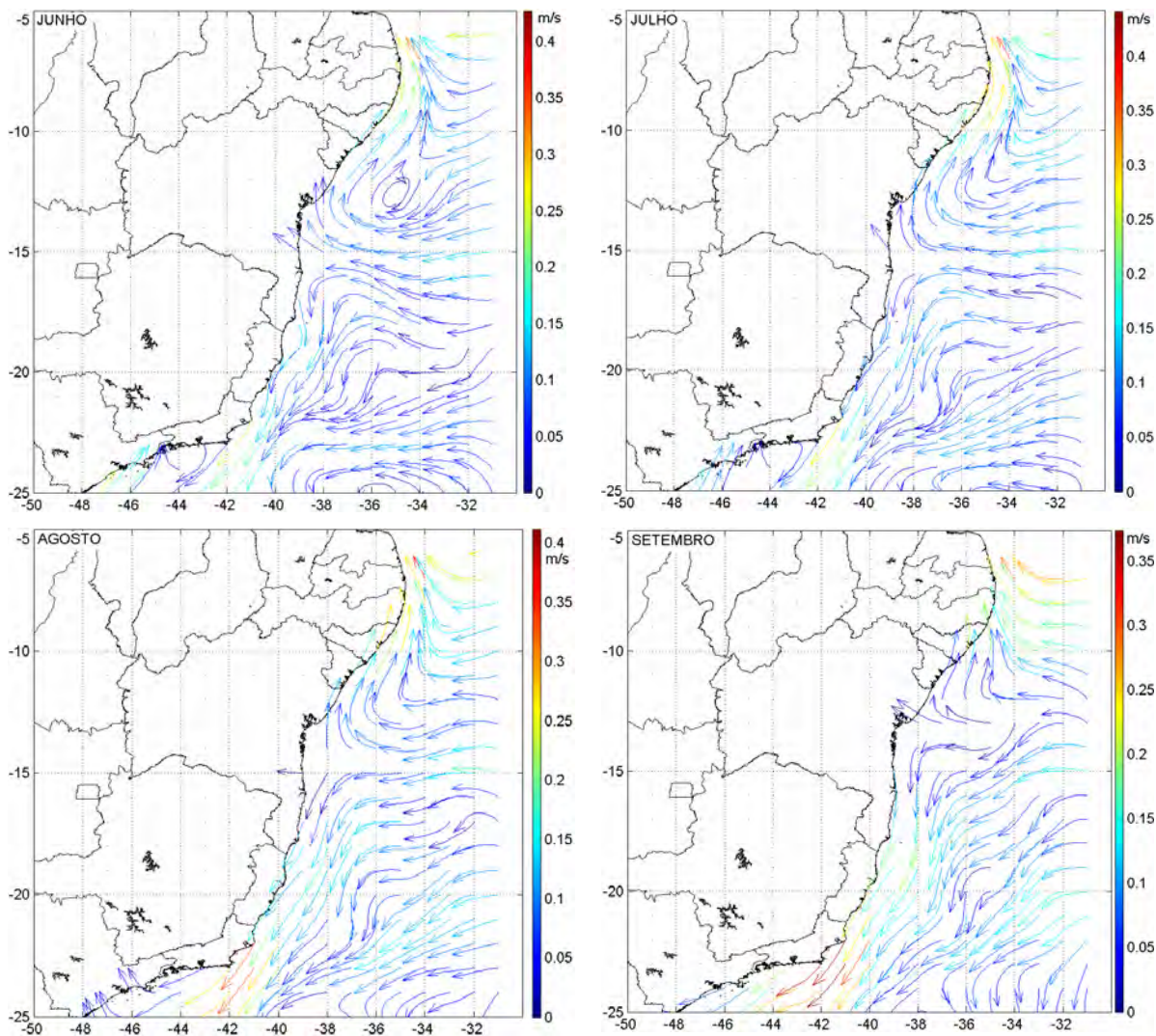


Figura III.4.2-13 - Médias mensais climáticas da circulação próxima à superfície para os meses de junho a setembro.

A figura III.4.2-14 ilustra, em grades de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, os valores médios (em nós) da velocidade e direção da corrente, para os meses de fevereiro e julho. Estes últimos dados são oriundos de uma análise estatística baseada em dados de 1953 a 1994, colecionados pelo *Japan Oceanographic Data Center*.

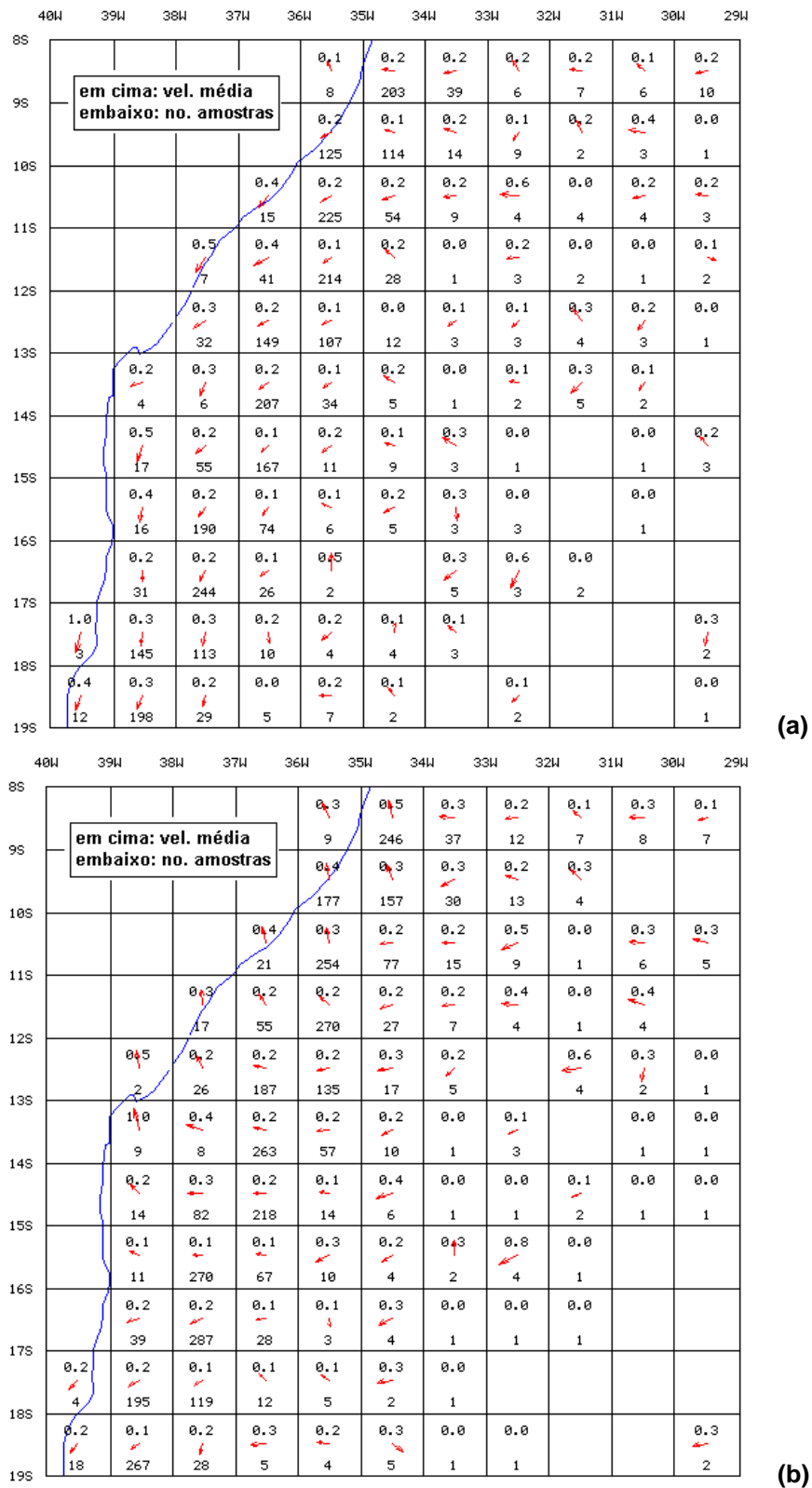


Figura III.4.2-14 - Velocidade média das correntes (em nós) no litoral da Bahia e adjacências: (a) fevereiro e (b) julho, de acordo com dados do Japan Oceanographic Data Center.

A figura III.4.2-15, é relativa à secção 1 (indicada na figura III.4.2-11), que também corresponde ao local onde foi montada a rede de fundeios do projeto CLIVAR, na Bacia de Sergipe-Alagoas (figuras I.1.2-2 e I.1.2-3). Nota-se que o modelo simulou satisfatoriamente o fluxo para norte, associado à Corrente Norte do Brasil, e o fluxo para sul, associado à Corrente de Contorno Oeste Profunda. De acordo com as simulações, a CNB se estende das proximidades da superfície até cerca de 1.000 m, apresentando-se mais intensa e profunda nos meses de inverno. Nos meses de verão, o fluxo para norte se mantém em sub-superfície, aflorando longe da costa.

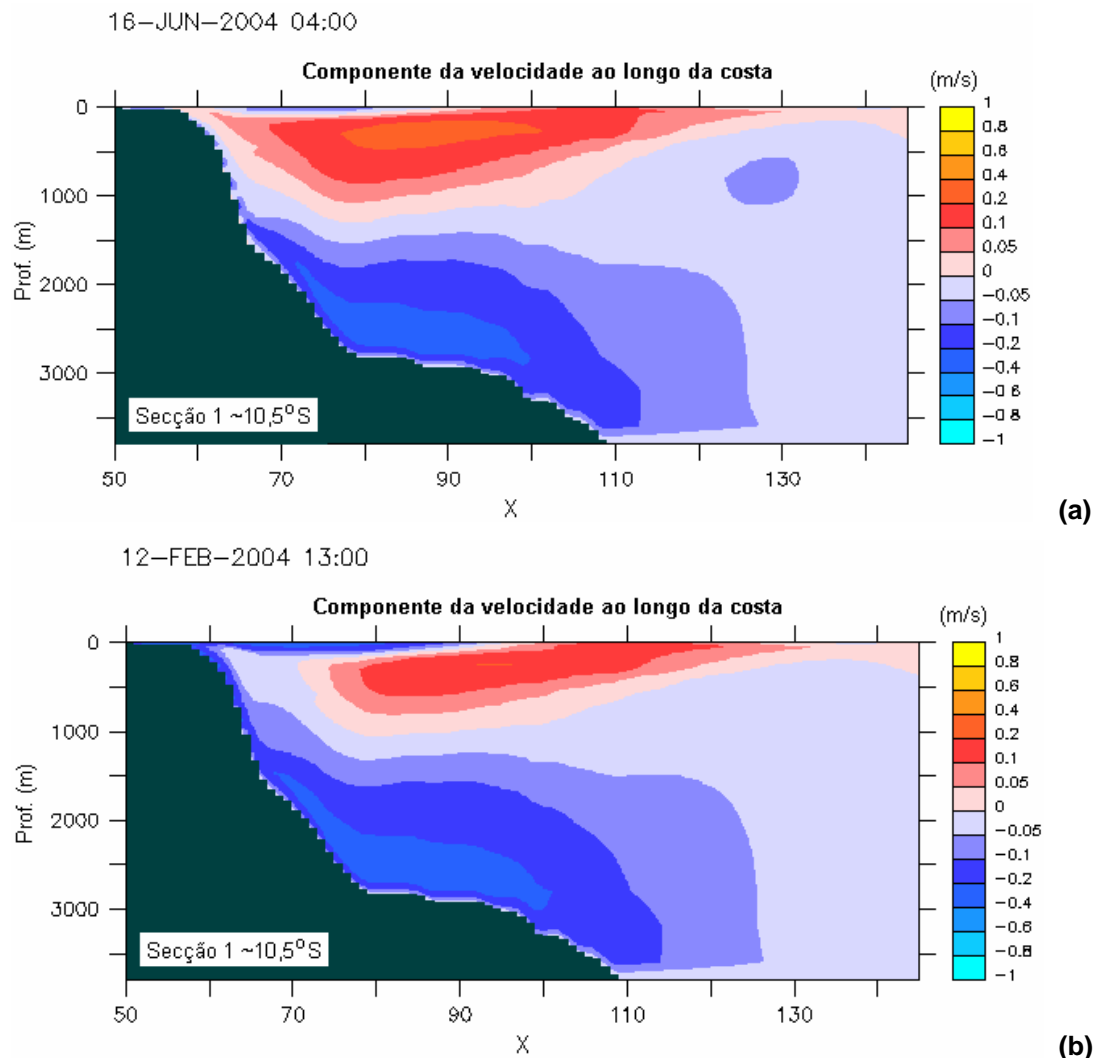


Figura III.4.2-15 - Secções verticais da componente v da velocidade (ao longo da costa) para a secção 1, em junho (a) e fevereiro (b).

Na figura III.4.2-16, relativa à secção 2 da figura III.4.2-11 (Bacia de Jequitinhonha), as feições são semelhantes ao observado na secção 1, com a Sub-Corrente Norte do Brasil fluindo sobre a Corrente de Contorno Oeste Profunda. Entretanto, o núcleo da SCNB apresenta uma variação sazonal menor que a observada na secção 1, permanecendo próximo a 700 m de profundidade durante o verão e inverno.

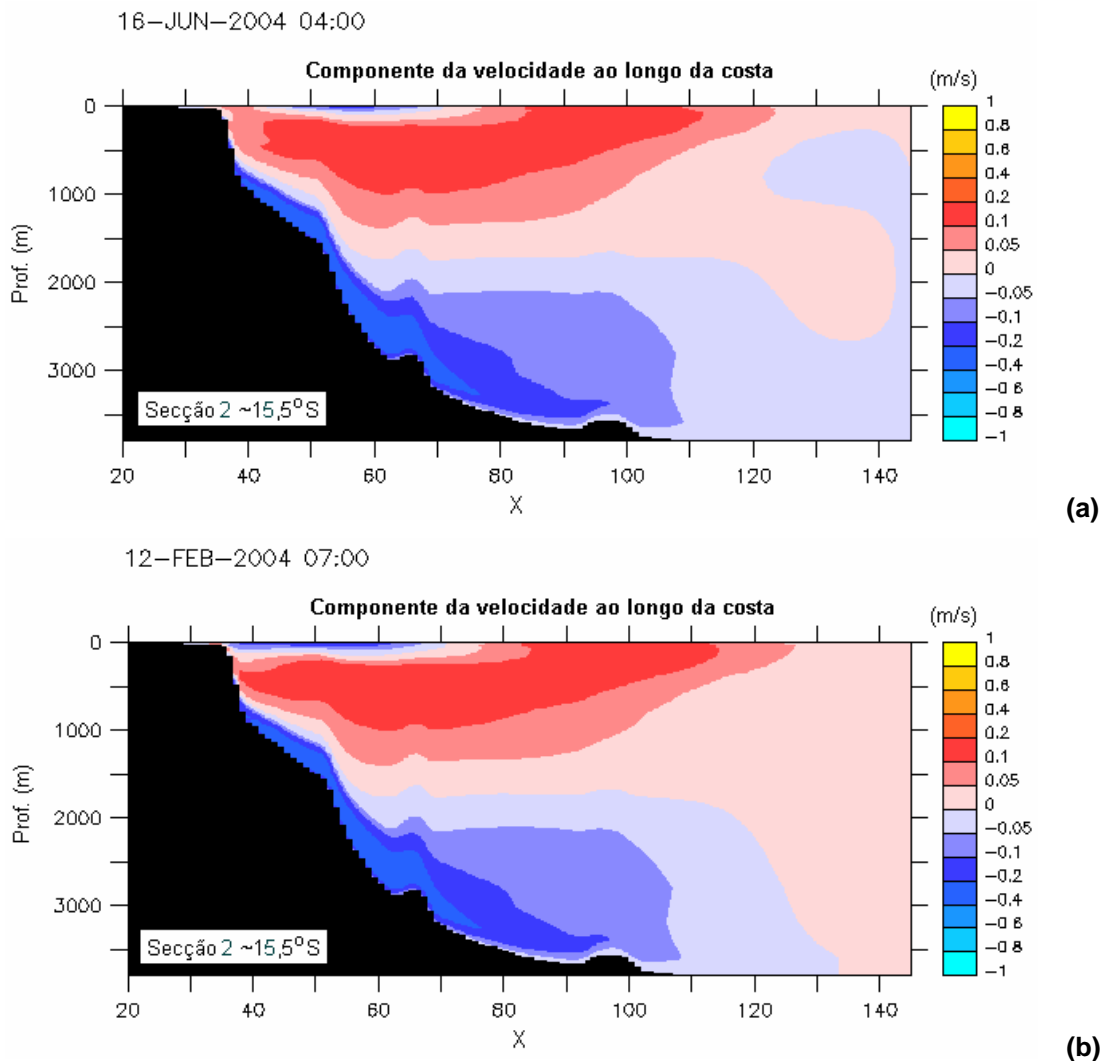


Figura III.4.2-16 - Secções verticais da componente v da velocidade (ao longo da costa) para a secção 2, em junho (a) e fevereiro (b).

A figura III.4.2-17 mostra um zoom dos primeiros 600 metros da velocidade meridional ao longo da secção 2. Observa-se uma pronunciada variação sazonal da dinâmica sobre a região da plataforma continental. Durante o inverno, nota-se um afloramento do fluxo para norte associado à Sub-Corrente Norte do Brasil

sobre a região da plataforma continental, impondo um fluxo para norte em camadas superficiais. Este afloramento durante o inverno está associado ao padrão de ventos costeiros que, durante esta época, mostrou uma intensificação da componente meridional para norte (ver figuras II.1-2 e II.1-3). Durante o verão, o padrão predominante dos ventos costeiros é do quadrante leste, não favorecendo a intrusão da Sub-Corrente Norte do Brasil sobre a plataforma continental, sustentando um fluxo superficial para sul na região.

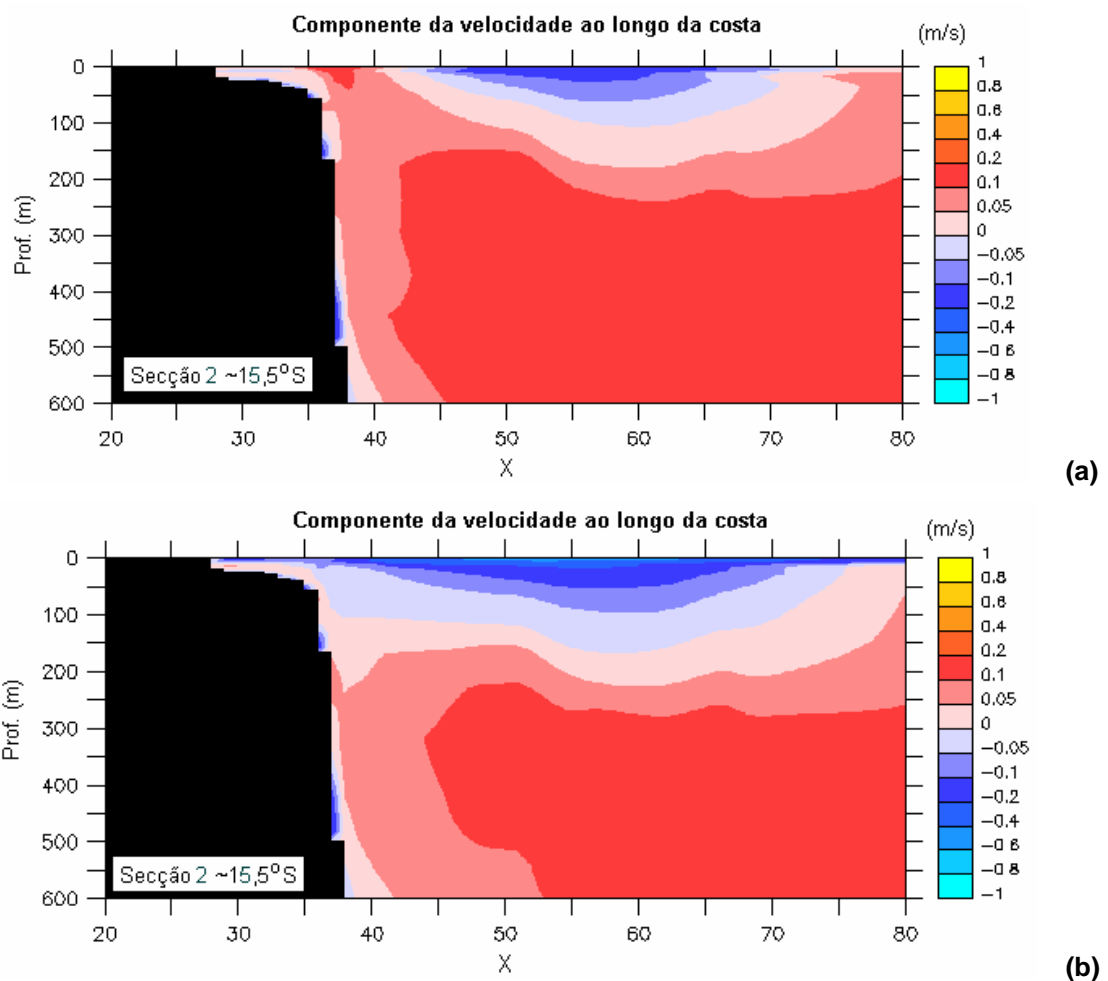


Figura III.4.2-17 - Zoom dos primeiros 600 metros das secções verticais da componente v da velocidade (ao longo da costa) para a secção 2, em junho (a) e fevereiro (b).

Para ilustrar o padrão espacial horizontal associado às variações sazonais observadas na secção 2, a figura III.4.2-18 ilustra os resultados do modelo hidrodinâmico para verão e inverno, na região da Bacia de Jequitinhonha.

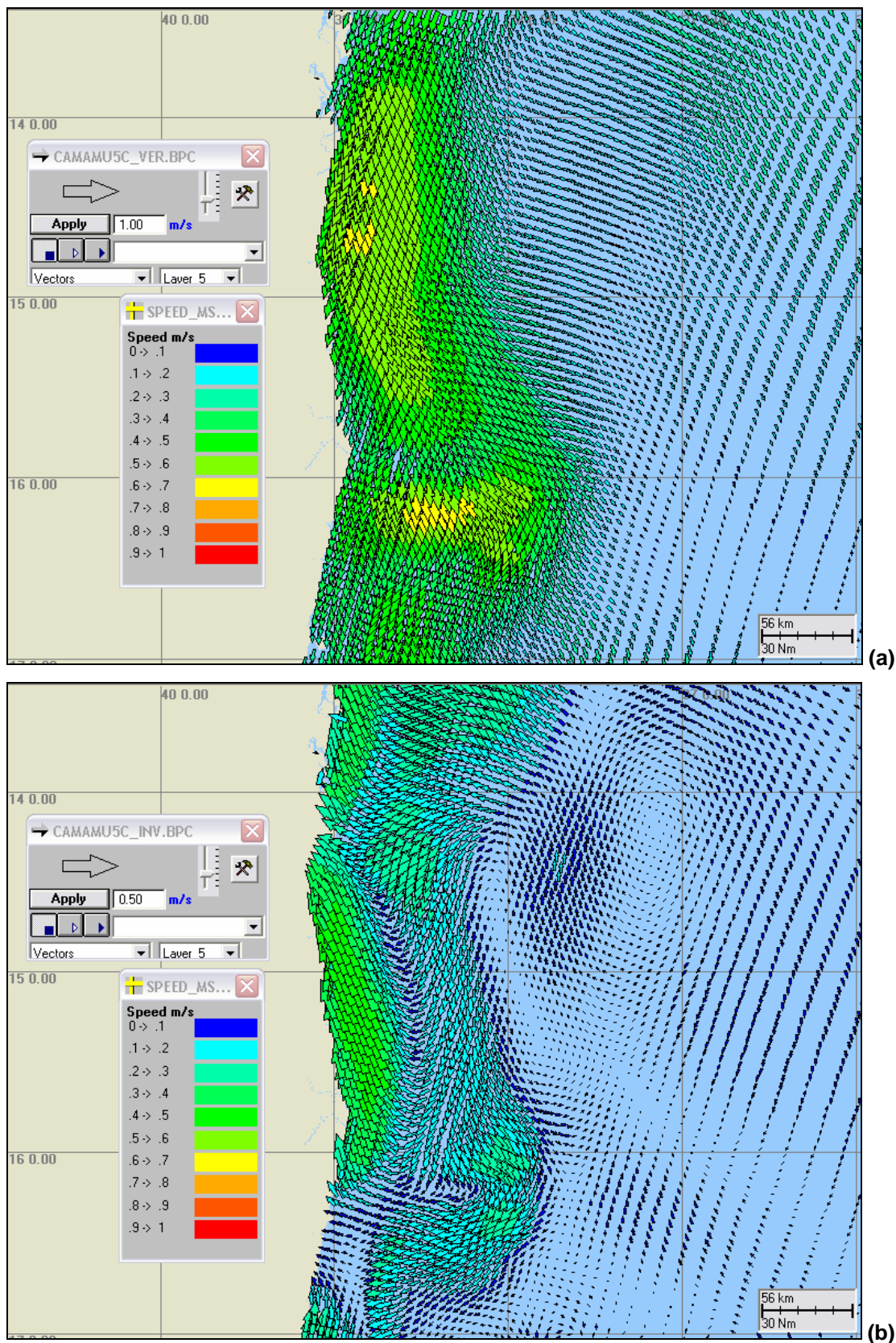


Figura III.4.2-18 - Instantâneos do modelo hidrodinâmico para a distribuição espacial das correntes típicas de verão (a) e inverno (b).

Nota-se para o verão um fluxo para sul bem distribuído sobre toda a plataforma continental. Sobre o talude continental, o fluxo para sul, associado a Corrente do Brasil, é a feição dominante. Para o período de inverno observa-se a inversão do fluxo de superfície para norte junto à costa. Sobre o talude a Corrente do Brasil e os meandramentos a ela associados são as feições dominantes, apresentando menores intensidades em relação ao período de verão.

III.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A MODELAGEM HIDRODINAMICA

No ano de 2003 foi desenvolvido para a PETROBRAS um modelo hidrodinâmico para a região costeira e de plataforma interna do litoral da Bahia (ASA, 2004), validado com dados coletados em região costeira, nas proximidades de Camamu e da BTS. Naquele modelo procurou-se reproduzir a dinâmica de circulação sobre a plataforma continental, capturando os principais sinais presentes nesta área: a amplificação da maré e o padrão de corrente costeiro gerado por vento.

A base hidrodinâmica utilizada e apresentada neste relatório visou agregar os novos conhecimentos adquiridos (medições e publicações recentes) através de um novo modelo hidrodinâmico capaz de simular numericamente a dinâmica de plataforma, talude e oceano profundo, utilizando os dados acima mencionados.

Entretanto, conforme discutido no Subitem I.1.2, os dados disponíveis ainda são insuficientes para fundamentar solidamente o conhecimento científico na região, tanto na plataforma quanto na região oceânica adjacente. Os dados de corrente obtidos no ponto denominado BMJ-1 possibilitaram averiguar o grau de reprodutibilidade do modelo na superfície, no período de coleta. Para a verificação dos padrões de circulação oceânicos imediatamente adjacentes à área, levou-se em conta a alta correlação com os sistemas de larga escala descritos no presente texto e conhecidos na literatura, usados como parâmetros qualitativos para avaliação dos resultados do modelo.

Portanto, a melhoria de uma base hidrodinâmica, como a atualmente apresentada, estará sempre vinculada a processos paralelos de desenvolvimento científico na área, e.g. disponibilidade de dados com maior cobertura espacial-temporal, contribuições teóricas e ou analíticas para o entendimento da dinâmica e até mesmo questões relacionadas ao desenvolvimento tecnológico da modelagem numérica.

Adicionalmente, há necessidade de dados batimétricos confiáveis e medidas contínuas (ou pelo menos que caracterizem as condições sazonais típicas) de correntes, elevação do nível do mar e ventos, em regiões costeiras, plataforma, talude e oceano profundo. No caso de medições de correntes seria interessante que a resolução vertical fosse suficiente para dirimir questões ainda não completamente respondidas na área (e.g. corrente de plataforma para norte, vórtices e zonas de formação da Corrente do Brasil).

Com relação à validação do modelo, é possível afirmar que se atingiu bom coeficiente de comparação para a elevação da maré (índices de 10,1% no verão e 14,9% no inverno). Com relação aos padrões de corrente nos pontos amostrados, observou-se boa concordância entre observações e simulação numérica.

No verão, a principal característica para a região de talude é a presença de um intenso fluxo para sul-sudeste, apresentando perturbações na intensidade, mas praticamente não ocorrendo inversões de direção. O erro entre dados e resultados do modelo para a intensidade média foi igual a 18%, apresentando diferença de direção igual 8°. Para a intensidade residual, o erro foi igual a 19% e a direção preferencial de oscilação do resíduo para os dados foi o eixo NE/SW, enquanto que para o modelo foi o eixo NW/SE.

No inverno, a comparação com os dados medidos em região de plataforma indicou que o modelo reproduziu satisfatoriamente as reversões observadas durante o período. Isto se deve, por um lado, ao campo baroclínico forçante e, por outro, à composição entre o campo de ventos de larga escala (NCEP) e os ventos costeiros (INFRAERO), utilizados como forçantes. A intensidade média do modelo no inverno foi igual à dos dados, embora tenha havido menor espalhamento no modelo. A direção média do modelo apresentou diferença de 30° para oeste, em comparação com os dados. O erro entre intensidades residuais de dados e

modelo no inverno foi igual a 5%, e a direção preferencial de oscilação da energia residual foi o eixo Norte-Sul, tanto para os dados quanto para o modelo.

Os resultados obtidos com a modelagem numérica devem ser compreendidos e analisados dentro de margens de erro pouco mensuráveis. Esses limites, usuais em simulações hidrodinâmicas, decorrem da complexidade da circulação numa região específica, aliada à quantidade de informação já existente e ao fato da comparação entre os resultados do modelo e as medições realizarem-se sempre em pontos restritos no espaço e no tempo.

IV MODELAGEM DE DERRAME DE ÓLEO

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

IV.1 DADOS DE ENTRADA

IV.1.1 Campos de Correntes

Os campos de correntes utilizados na modelagem do transporte e dispersão de óleo para o Bloco BM-J-1 foram gerados através da modelagem hidrodinâmica, como descrito no Capítulo III. Para avaliar a sazonalidade das forçantes ambientais nos padrões de circulação e transporte, foram definidos dois campos hidrodinâmicos representativos dos períodos de verão (janeiro a março) e inverno (junho a agosto) de 2004.

Para a elaboração dos cenários de deriva para acidentes com petróleo simulados neste estudo foram definidas duas grades *land-water* com dimensões de 300x150 pontos (figura IV.1.1-1 e IV.1.1-2), sendo uma utilizada nas simulações de verão e a outra de inverno.

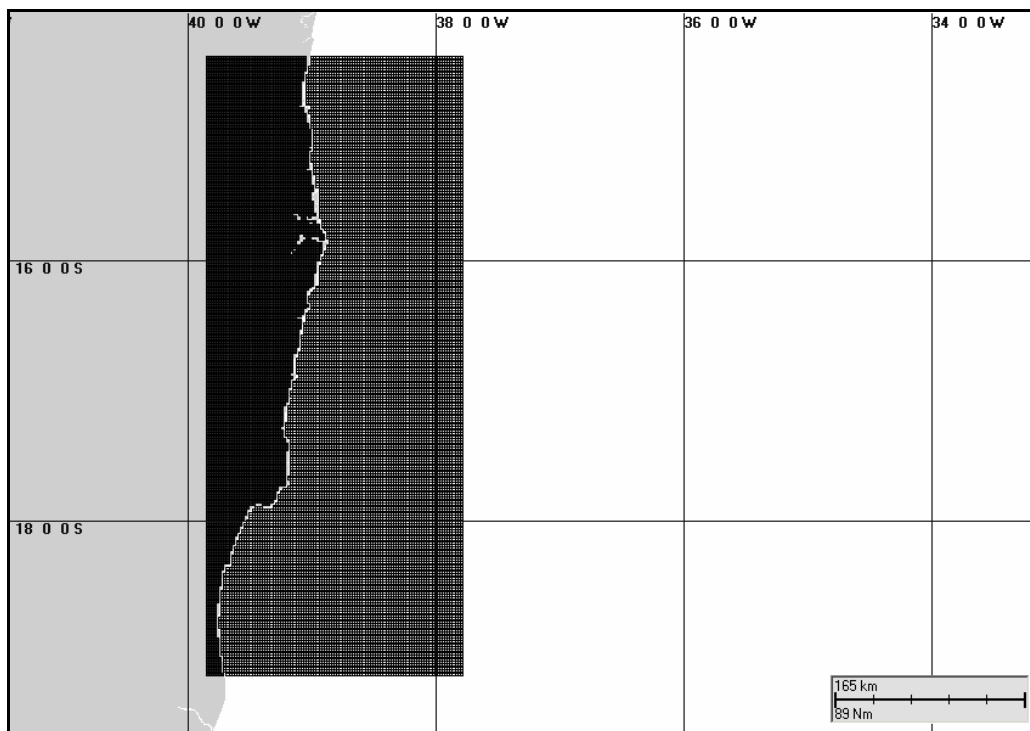


Figura IV.1.1-1 - Grade definindo os contornos de terra (grade land-water) para a modelagem de deriva de óleo a partir do Bloco BM-J-1, para as simulações de verão.

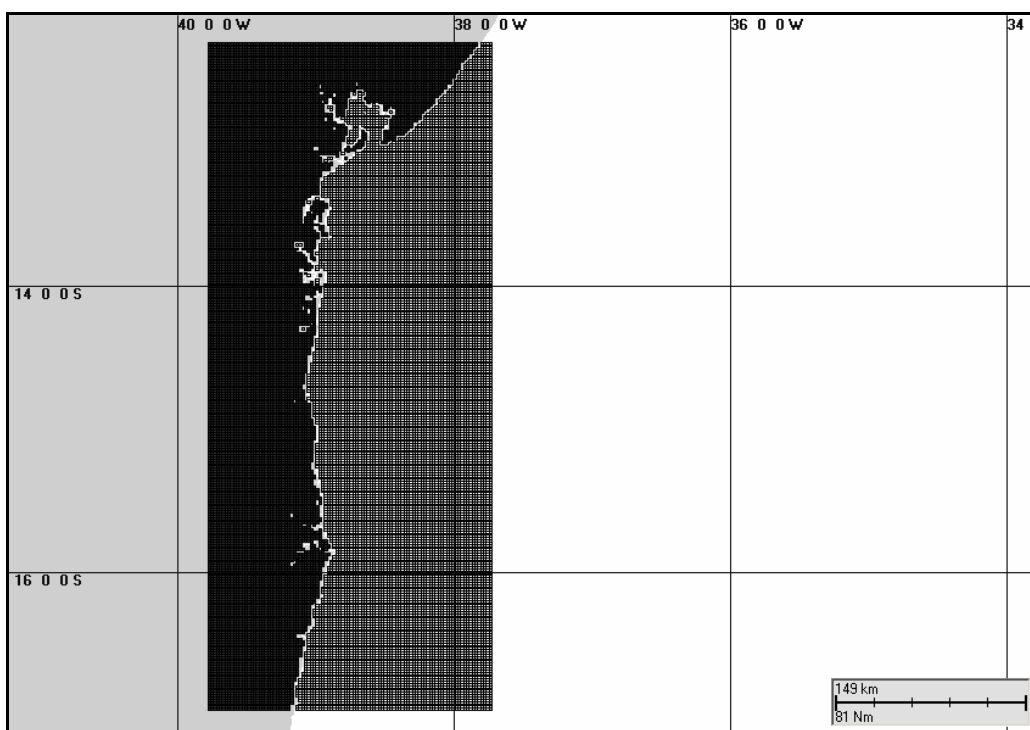


Figura IV.1.1-2 - Grade definindo os contornos de terra (grade land-water) para a modelagem de deriva de óleo a partir do Bloco BM-J-1, para as simulações de inverno.

IV.1.2 Dados de Vento

Dentre os dados de vento utilizados na modelagem hidrodinâmica, foram selecionados, para a modelagem de dispersão de óleo, aqueles obtidos no interior do domínio desta, no caso, os dados da INFRAERO medidos em Ilhéus e Salvador, e os resultados de Reanálise do NCEP, ao norte de Ilhéus (NCEP Ilhéus), indicados na figura II.1-1.

As figuras IV.1.2-2 a IV.1.2-4 apresentam os diagramas tipo *stick plot* dos valores médios diários para resultados do NCEP, INFRAERO Ilhéus e INFRAERO Salvador, respectivamente. Para sua utilização na modelagem, estes dados foram espacialmente interpolados.

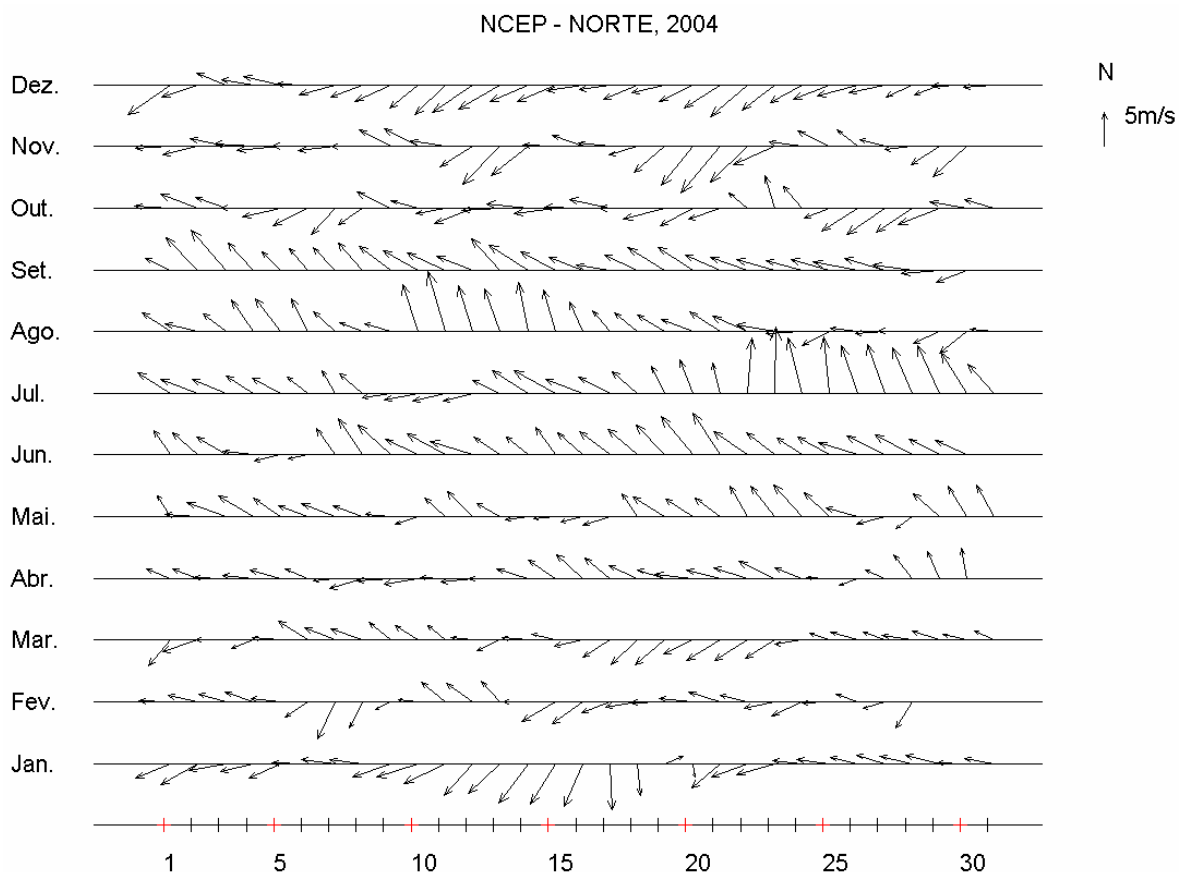


Figura IV.1.2-2 - Diagrama stick plot dos valores médios diários de dados de vento NCEP Ilhéus durante o período de janeiro a dezembro de 2004 (convenção vetorial).

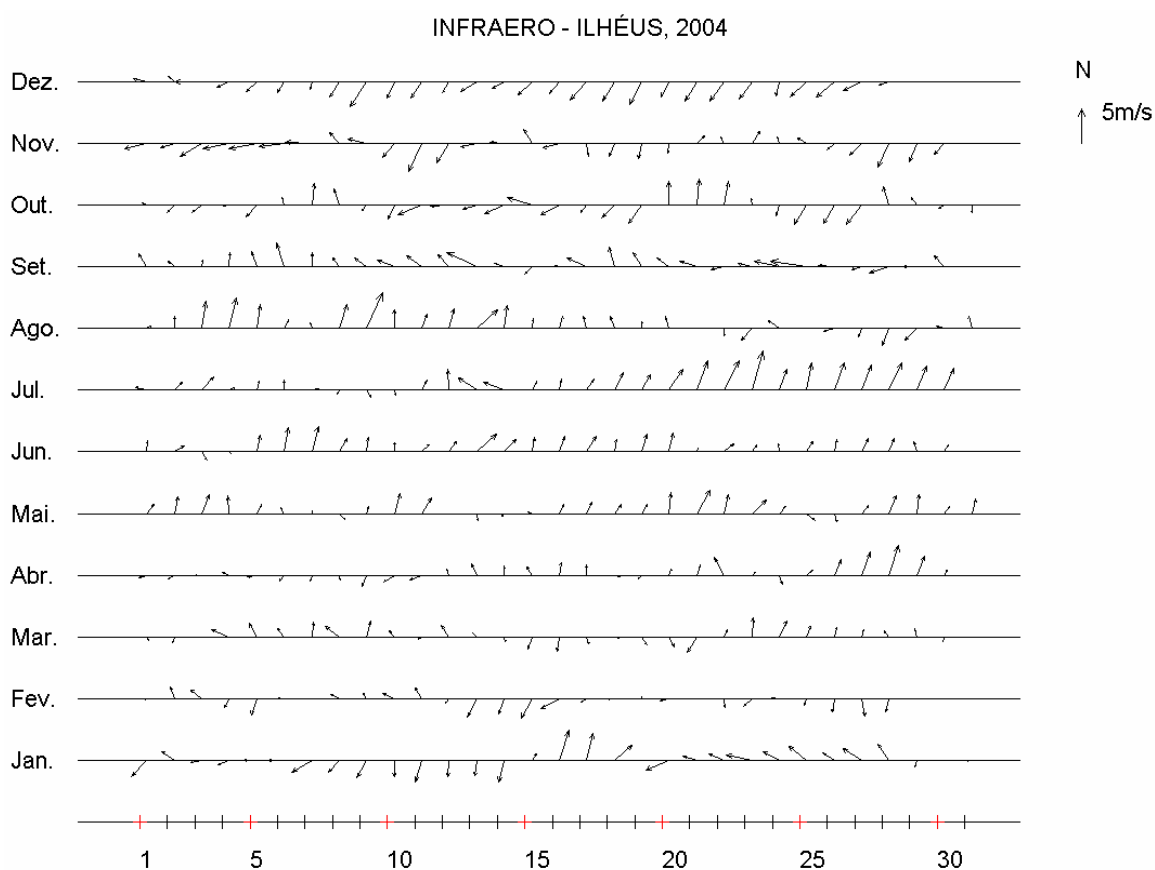


Figura IV.1.2-3 - Diagrama stick plot dos valores médios diários de dados de vento INFRAERO Ilhéus durante o período de janeiro a dezembro de 2004 (convenção vetorial).

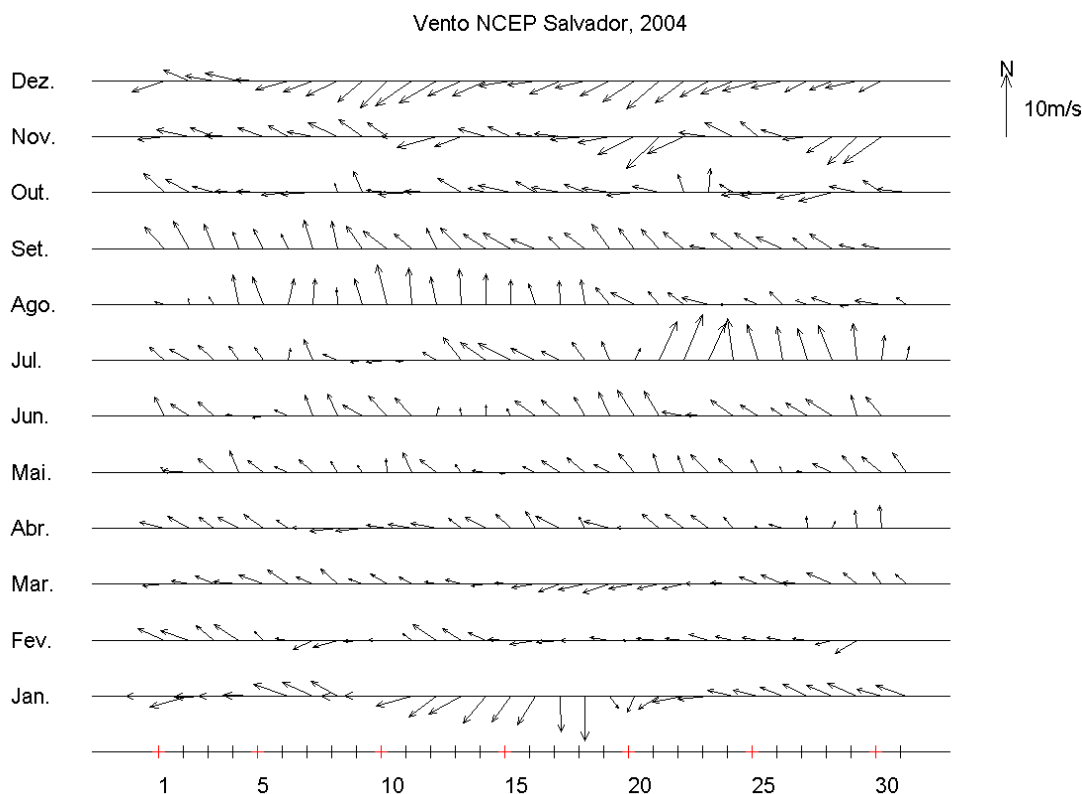


Figura IV.1.2-4 - Diagrama stick plot dos valores médios diários de dados de vento INFRAERO Salvador durante o período de janeiro a dezembro de 2004 (convenção vetorial).

Considerando estes três conjuntos de dados, observa-se que os meses de junho a agosto apresentam predominância de ventos oriundos do quadrante sul, sendo representativos do período de inverno; os meses de janeiro a março, representativos do período de verão, também apresentam ventos do quadrante sul, embora a quantidade de ocorrências de ventos de leste-nordeste seja maior que a observada no inverno.

A figura IV.1.2-5, IV.1.2-6 e IV.1.2-7 apresentam os histogramas direcionais dos dados de vento NCEP Ilhéus, INFRAERO Ilhéus e INFRAERO Salvador para os períodos de verão e inverno. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica. A intensidade é apresentada em (m/s) e as escalas de cores representam o número e a porcentagem de observações.

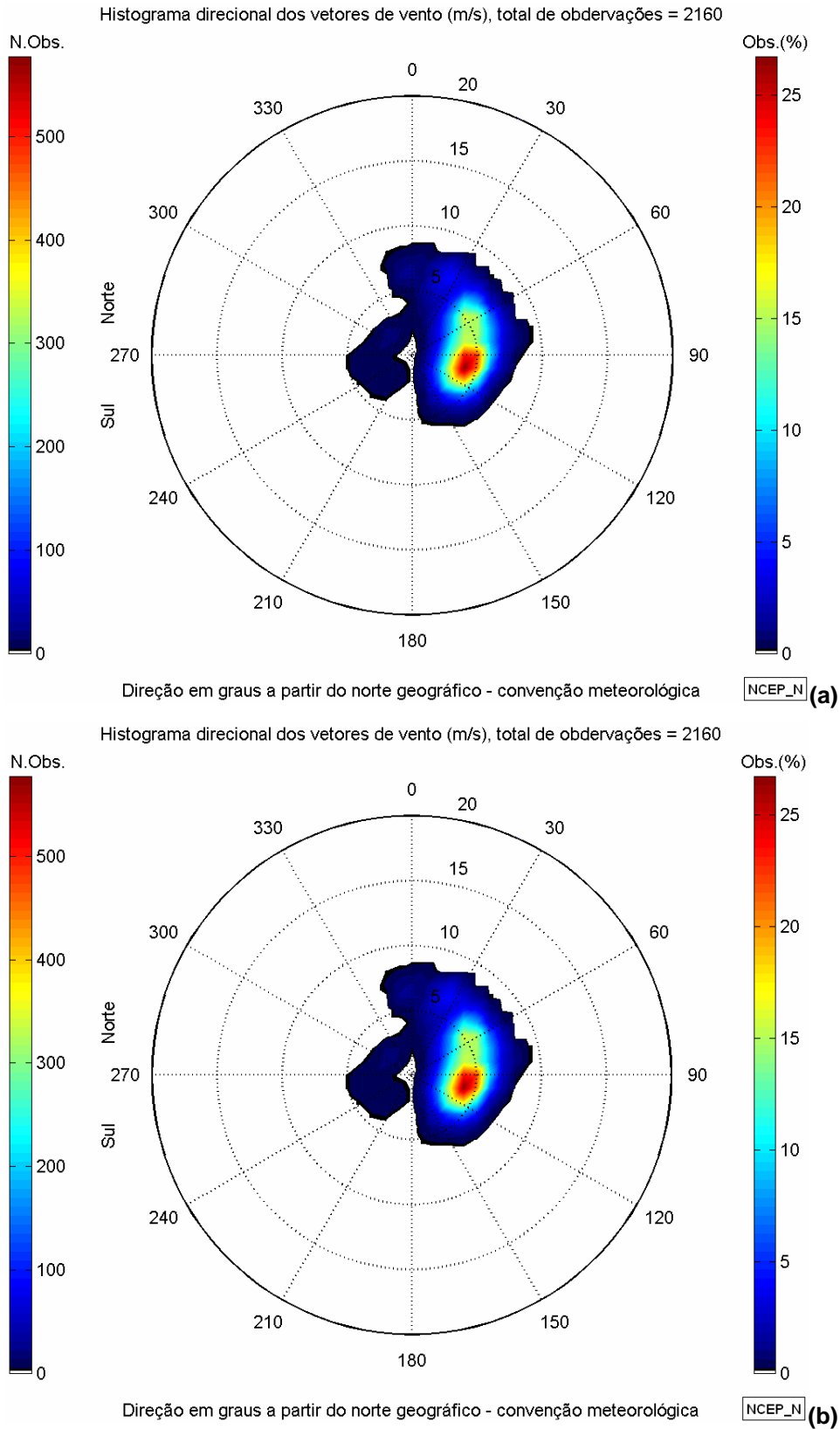


Figura IV.1.2-5 - Histograma direcional dos vetores de vento NCEP Ilhéus para (a) verão (janeiro a março de 2004) e (b) inverno (junho a agosto de 2004).

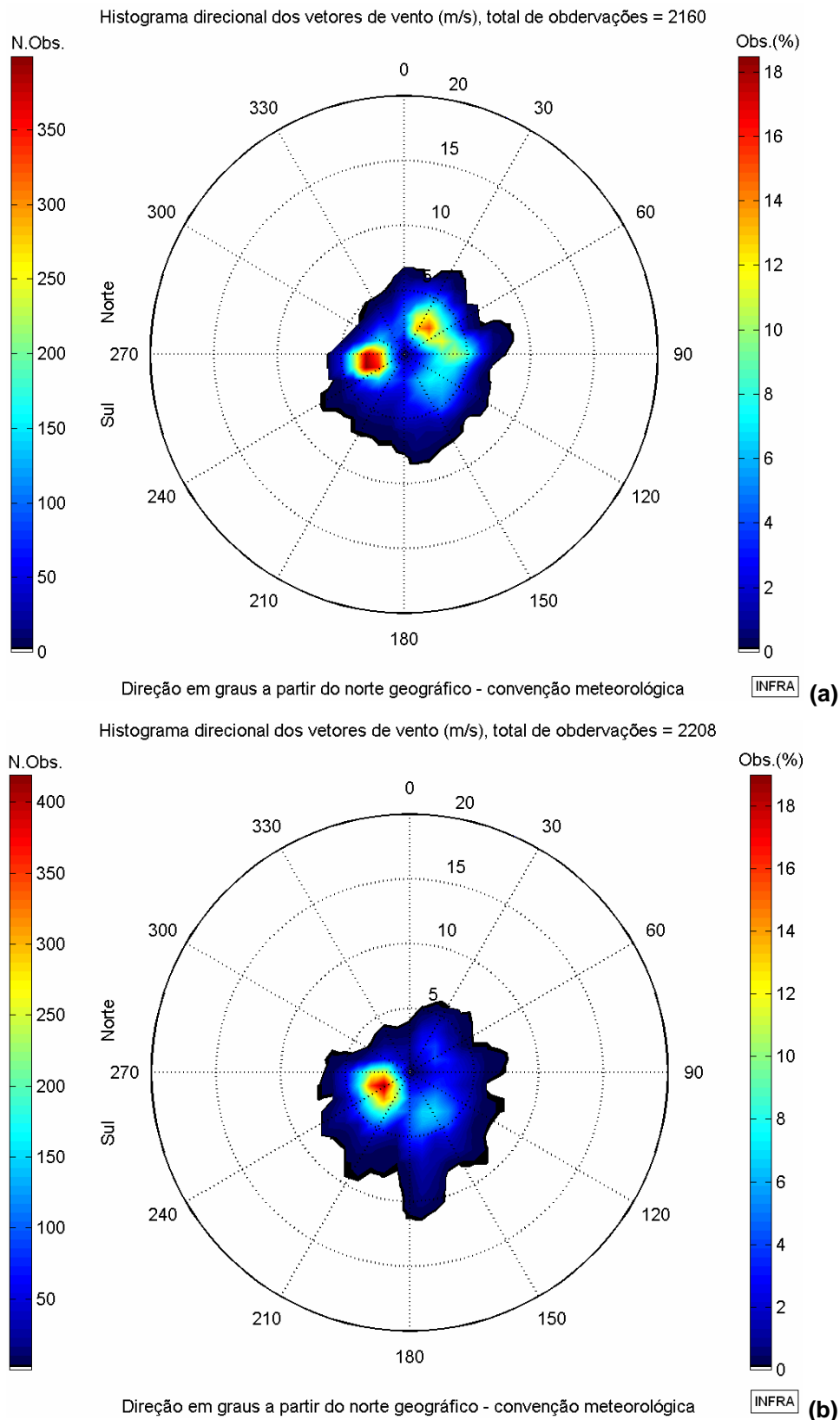
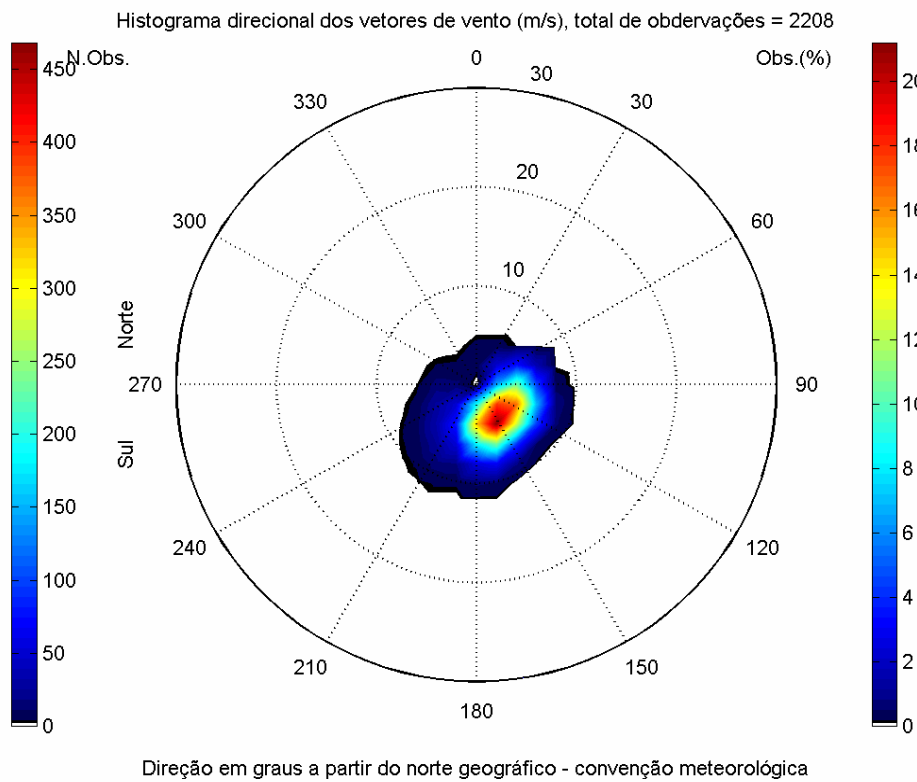
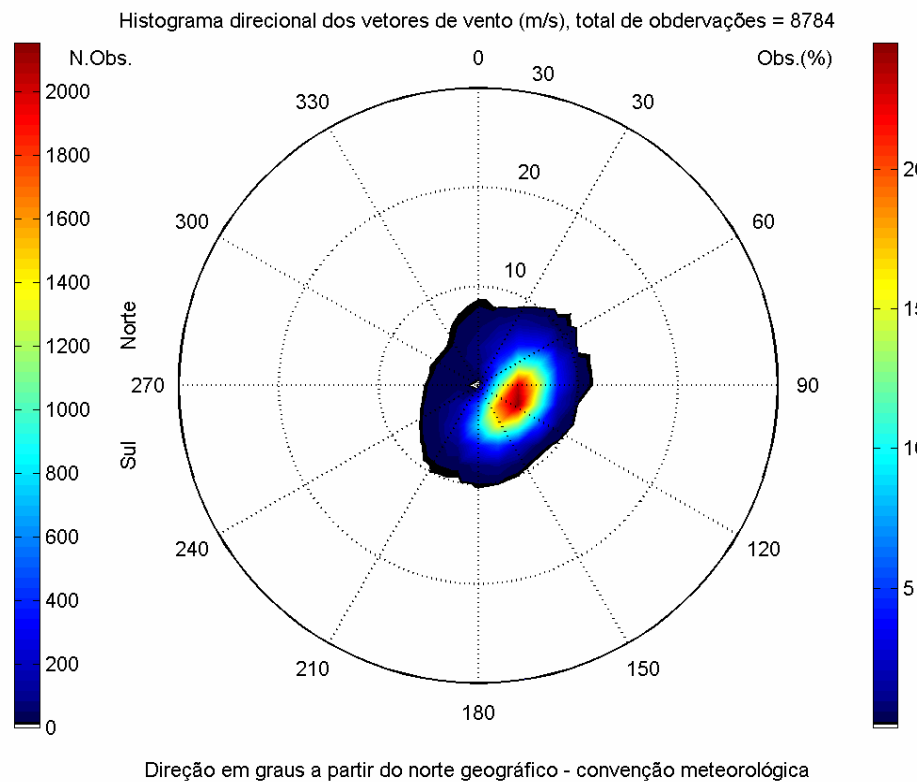


Figura IV.1.2-6 - Histograma direcional dos vetores de vento INFRAERO Ilhéus para (a) verão (janeiro a março de 2004) e (b) inverno (junho a agosto de 2004).



(a)



(b)

Figura IV.1.2-7 - Histograma direcional dos vetores de vento INFRAERO Salvador para (a) verão (janeiro a março de 2004) e (b) inverno (junho a agosto de 2004).

IV.1.3 Ponto de Risco e Volumes

Na modelagem do transporte e dispersão de óleo no mar para o Bloco BM-J-1 foi considerado um ponto de risco, cuja localização representa o único poço que será perfurado (*Lead-F2*) no bloco. As coordenadas do ponto de risco, especificadas pela PETROBRAS, são apresentadas na tabela IV.2.3-1.

Tabela IV.1.3-1 - Coordenadas geográficas (SAD 69) do ponto de risco considerado na modelagem de óleo.

PONTO	LATITUDE	LONGITUDE
LEAD-F2	15°06'15,55"S	38°43'26,00"W

Fonte: PETROBRAS.

Os volumes utilizados nas simulações foram definidos segundo a Resolução CONAMA nº 398/08:

- Pequeno: 8,0 m³;
- Médio: 200,0 m³;
- Pior caso: 2.170,23 m³ (óleo diesel marítimo) e 7.500,0 m³ (óleo cru).

O cenário de pior caso com derrame de óleo diesel marítimo corresponde à hipótese acidental de ruptura dos tanques da unidade marítima, e o volume de pior caso corresponde à tacangem de diesel da Plataforma NS-09.

No cenário de pior caso com derrame de óleo cru, a hipótese acidental corresponde à perda de controle do poço (*blowout*) de maior surgência por 30 dias (VBO_{30dias}). Segundo a PETROBRAS, o objetivo principal dos prospectos exploratórios, em águas profundas, no Bloco BM-J-1, são os arenitos turbidíticos da Formação Urucutuca, de idade terciária. O histórico de testes de formação a poço revestido (TFR) realizados no bloco, em reservatórios de idade cretácea da Formação Mariricu, na década de 80, nos poços BAS-37 e BAS-58, mostrou vazões diárias de, respectivamente, 150 m³ e 42 m³. Esses poços nunca foram postos em produção. Os arenitos da Formação Urucutuca podem se correlacionar com os seus homólogos da Bacia de Cumuruxatiba, mais precisamente com os do Campo de Arraia, descoberto em 1972. Nesse campo, onde foram realizados muitos TFRs, destaca-se a produção obtida no TFR-05A, levado a cabo no

Poço BAS-11, no intervalo 1.646 m-1.665 m. Esse teste produziu óleo de grau API 36 com uma vazão de 186 m³/dia, sob pressão estática de 169 kgf/cm², porosidade de 21% e permeabilidade de 227 mD. Esses valores nortearam a escolha do tipo de óleo (leve, de grau API 36) e do volume conservador de 250 m³/dia (cifra nunca atingida nos testes até hoje desenvolvidos na região do Bloco).

Nas simulações realizadas com os volumes pequeno (8 m³) e médio (200 m³) para ambos os tipos de óleo, além do volume de pior caso para óleo diesel marítimo, considerou-se o vazamento de todo o volume de óleo instantaneamente, ou seja, no instante inicial da simulação. Nas simulações com volume de pior caso por *blowout*, o derrame de todo o volume foi considerado contínuo ao longo de 30 dias.

IV.1.4 Características dos Produtos Utilizados

Com base nas informações disponíveis para a área em estudo, a PETROBRAS definiu o óleo diesel marítimo e o óleo cru tipo BAS-11, tabela IV.1.4-1, para serem utilizados na modelagem de dispersão de óleo.

Tabela IV.1.4-1 - Tipos de óleo utilizado nas simulações.

NOME	GRAU API
Diesel Marítimo	31,6
BAS-11	36,0

Fonte: PETROBRAS.

A justificativa da escolha do óleo cru tipo BAS-11 é apresentada no Subitem IV.1.3. No caso da escolha do óleo diesel marítimo, é devido ao fato de ser este o combustível que a PETROBRAS fornece para as suas plataformas. As características físico-químicas dos óleos diesel marítimo e tipo BAS-11 são provenientes da PETROBRAS, sendo apresentadas nas tabelas IV.1.4-2 e IV.1.4-3. As informações necessárias ao modelo OILMAP, e que não foram fornecidas pela PETROBRAS, são provenientes do banco de dados da [ASA](#).

Tabela IV.1.4-2 - Características do óleo diesel marítimo utilizado nas simulações.

PARÂMETRO	VALOR
Nome do óleo	DIESEL MARÍTIMO
Densidade (g/cm ³)	0,869
Viscosidade dinâmica (cP) a 25°C	1,15
Tensão interfacial (din/cm)	20,00
Máximo conteúdo de água para formar emulsões (%)	0,00
Espessura mínima (mm)	0,10
Ponto de ebulição inicial (K)	453,77
Gradiente da curva de evaporação	241,32
Constante de evaporação A	15,99
Constante de evaporação B	16,25

Fonte: Banco de Dados da ASA.

Tabela IV.1.4-3 - Características do óleo cru tipo BAS-11 utilizado nas simulações.

PARÂMETRO	VALOR
Nome do óleo	BAS-11
Densidade (g/cm ³)	0,844*
Viscosidade dinâmica (cP) a 25°C	26,00*
Tensão interfacial (din/cm)	16,50*
Máximo conteúdo de água para formar emulsões (%)	70,00**
Espessura mínima (mm)	0,10**
Ponto de ebulição inicial (K)	440,00*
Gradiente da curva de evaporação	610,00*
Constante de evaporação A	9,50*
Constante de evaporação B	13,00*

Fontes: Bancos de Dados *PETROBRAS / **ASA.

IV.2 CRITÉRIO DE PARADA ADOTADO NAS SIMULAÇÕES

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

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

IV.3 RESUMO DOS CENÁRIOS SIMULADOS

As simulações probabilísticas foram realizadas através da variação aleatória do momento de início do derrame dentro do período para o qual foi elaborado o modelo hidrodinâmico (1^o de janeiro a 31 de dezembro de 2004), divididas em dois períodos correspondendo ao verão (janeiro a março) e ao inverno (junho a agosto). Para que se pudesse incorporar a variabilidade das forçantes meteorológicas e oceanográficas, foi realizada com o modelo OILMAP uma série de 450 simulações em cada cenário probabilístico. A tabela IV.3-1 apresenta os cenários simulados neste estudo para a o Bloco BM-J-1.

Tabela IV.3-1 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames de óleo para o Bloco BM-J-1, Bacia de Jequitinhonha.

CENÁRIOS	PRODUTO	VOLUME (m ³)	ESTAÇÃO DO ANO	DURAÇÃO DO DERRAME	TEMPO DE SIMULAÇÃO
BMJ1_LEADF2_VER_MDIESEL_8_30D	DIESEL MARÍTIMO	8,0	Verão	instantâneo	30 dias
BMJ1_LEADF2_VER_MDIESEL_200_30D	DIESEL MARÍTIMO	200,0	Verão	instantâneo	30 dias
BMJ1_LEADF2_VER_MDIESEL_PC_30D	DIESEL MARÍTIMO	2.170,23	Verão	instantâneo	30 dias
BMJ1_LEADF2_VER_BAS11_8_30D	BAS-11	8,0	Verão	instantâneo	30 dias
BMJ1_LEADF2_VER_BAS11_200_30D	BAS-11	200,0	Verão	instantâneo	30 dias
BMJ1_LEADF2_VER_BAS11_PC_60D	BAS-11	7.500,0	Verão	30 dias	60 dias
BMJ1_LEADF2_INV_MDIESEL_8_30D	DIESEL MARÍTIMO	8,0	Inverno	instantâneo	30 dias
BMJ1_LEADF2_INV_MDIESEL_200_30D	DIESEL MARÍTIMO	200,0	Inverno	instantâneo	30 dias
BMJ1_LEADF2_INV_MDIESEL_PC_30D	DIESEL MARÍTIMO	2.170,23	Inverno	instantâneo	30 dias
BMJ1_LEADF2_INV_BAS11_8_30D	BAS-11	8,0	Inverno	instantâneo	30 dias
BMJ1_LEADF2_INV_BAS11_200_30D	BAS-11	200,0	Inverno	instantâneo	30 dias
BMJ1_LEADF2_INV_BAS11_PC_60D	BAS-11	7.500,0	Inverno	30 dias	60 dias

V RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DE DERRAME DE ÓLEO

V.1 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS

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

Para a melhor compreensão dos resultados obtidos, a apresentação dos mesmos foi dividida conforme os volumes de derrame simulados. As tabelas V.1-1 e V.1-2 apresentam, respectivamente, as extensões de linha de costa com probabilidade de ser atingida por óleo e os menores períodos de tempo para o óleo atingir a costa, para todos os cenários probabilísticos simulados. Observa-se que há probabilidade de toque em todos os cenários simulados, sendo a maior extensão de costa atingida de 557,7 km (volume de pior caso para óleo cru no verão) e o menor tempo de 14 horas.

Tabela V.1-1 - Extensão da linha de costa com probabilidade de ser atingida a partir de derrames no Bloco BM-J-1, para todos os volumes de derrame, em condições de verão e inverno.

CENÁRIOS	EXTENSÃO DE LINHA DE COSTA COM PROBABILIDADE DE TOQUE (km)	
	VERÃO	INVERNO
BMJ1_LEADF2_MDIESEL_8_30D	435,1	296,7
BMJ1_LEADF2_MDIESEL_200_30D	443,3	319,4
BMJ1_LEADF2_MDIESEL_PC_30D	464,5	325,8
BMJ1_LEADF2_BAS11_8_30D	420,8	298,5
BMJ1_LEADF2_BAS11_200_30D	445,9	321,8
BMJ1_LEADF2_BAS11_PC_60D	557,7	328,4

Tabela V.1-2 - Tempo mínimo de toque para o óleo atingir a costa a partir de derrames no Bloco BM-J-1, para todos os volumes de derrame, em condições de verão e inverno.

CENÁRIOS	TEMPO MÍNIMO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	
	VERÃO	INVERNO
BMJ1_LEADF2_MDIESEL_8_30D	14	14
BMJ1_LEADF2_MDIESEL_200_30D	14	14
BMJ1_LEADF2_MDIESEL_PC_30D	14	14
BMJ1_LEADF2_BAS11_8_30D	14	14
BMJ1_LEADF2_BAS11_200_30D	14	14
BMJ1_LEADF2_BAS11_PC_60D	14	14

A seguir, são apresentados os resultados das simulações de forma gráfica, com os intervalos de probabilidade da presença de óleo na água e na costa, tempos de deslocamento do óleo na superfície da água e volume máximo de óleo por metro de costa. Os cenários probabilísticos consideraram derrames acidentais a partir do ponto de risco do Bloco BM-J-1, ocorrendo durante os meses de verão e inverno.

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

Em todas as ilustrações de resultados, o valor correspondente ao limite superior dos intervalos da escala de cores está incluído na classe. Assim, por exemplo, no intervalo de probabilidade de 10-20% estão incluídas as probabilidades superiores a 10% e menores ou iguais a 20%. Para o caso específico do primeiro intervalo de probabilidade (0-10%), são consideradas apenas as probabilidades maiores que 0 (zero) e menores ou iguais a 10%. As ilustrações dos contornos de tempo correspondem ao tempo mínimo de deslocamento de óleo na água calculado (para cada posição da grade) entre todos os cenários determinísticos que compõem o cenário probabilístico.

V.1.1 Simulações Probabilísticas para os Derrames Com Volume Pequeno

Nas figuras V.1.1-1 a V.1.1-8 são apresentados os contornos de probabilidade da presença de óleo na água, o tempo de deslocamento do óleo na água, as probabilidades de toque na linha de costa e os volumes máximos de óleo na costa, durante os meses de verão (janeiro a março), para as simulações com volume de derrame pequeno (8 m^3).

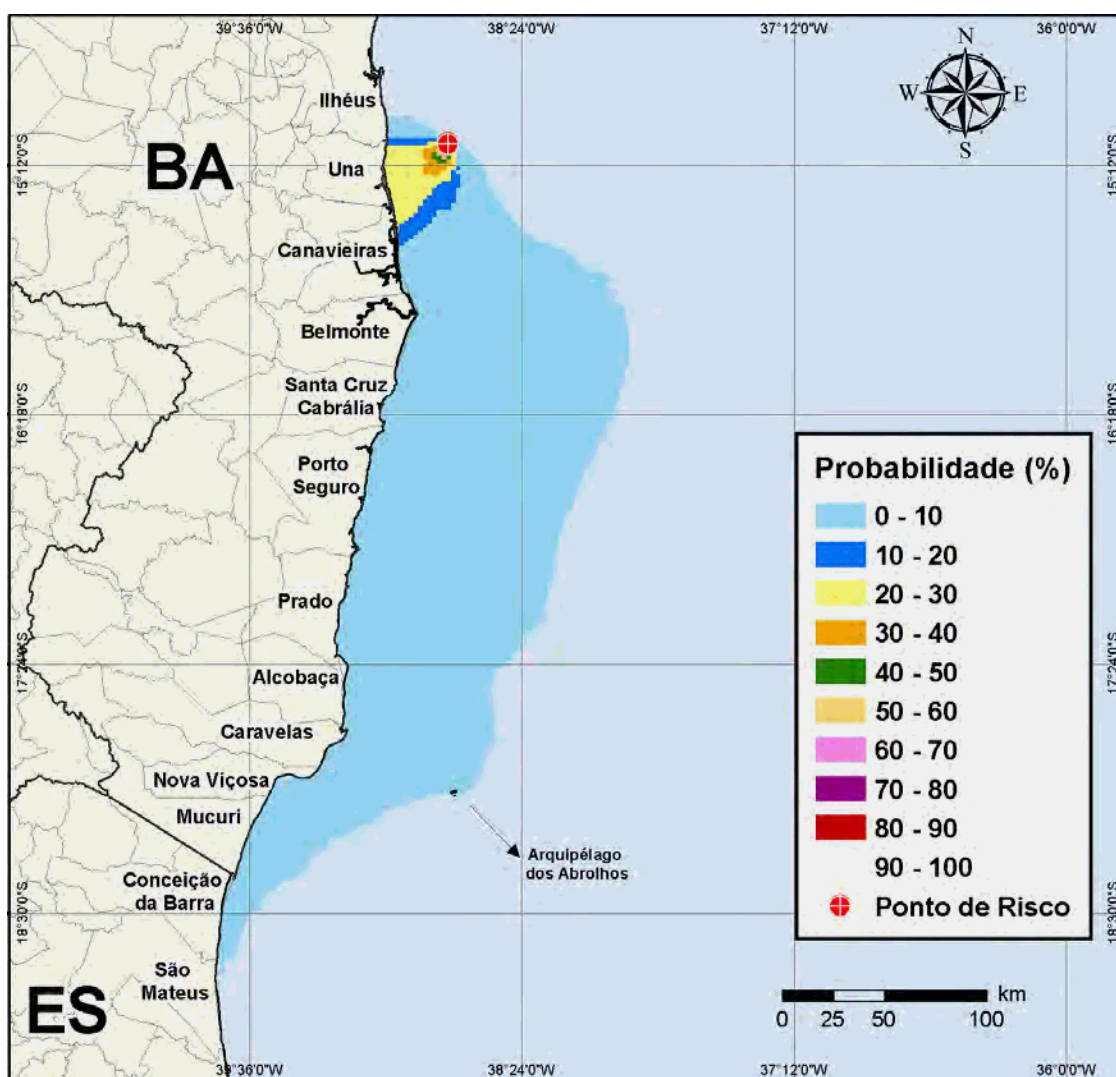


Figura V.1.1-1 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_8_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m^3 (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

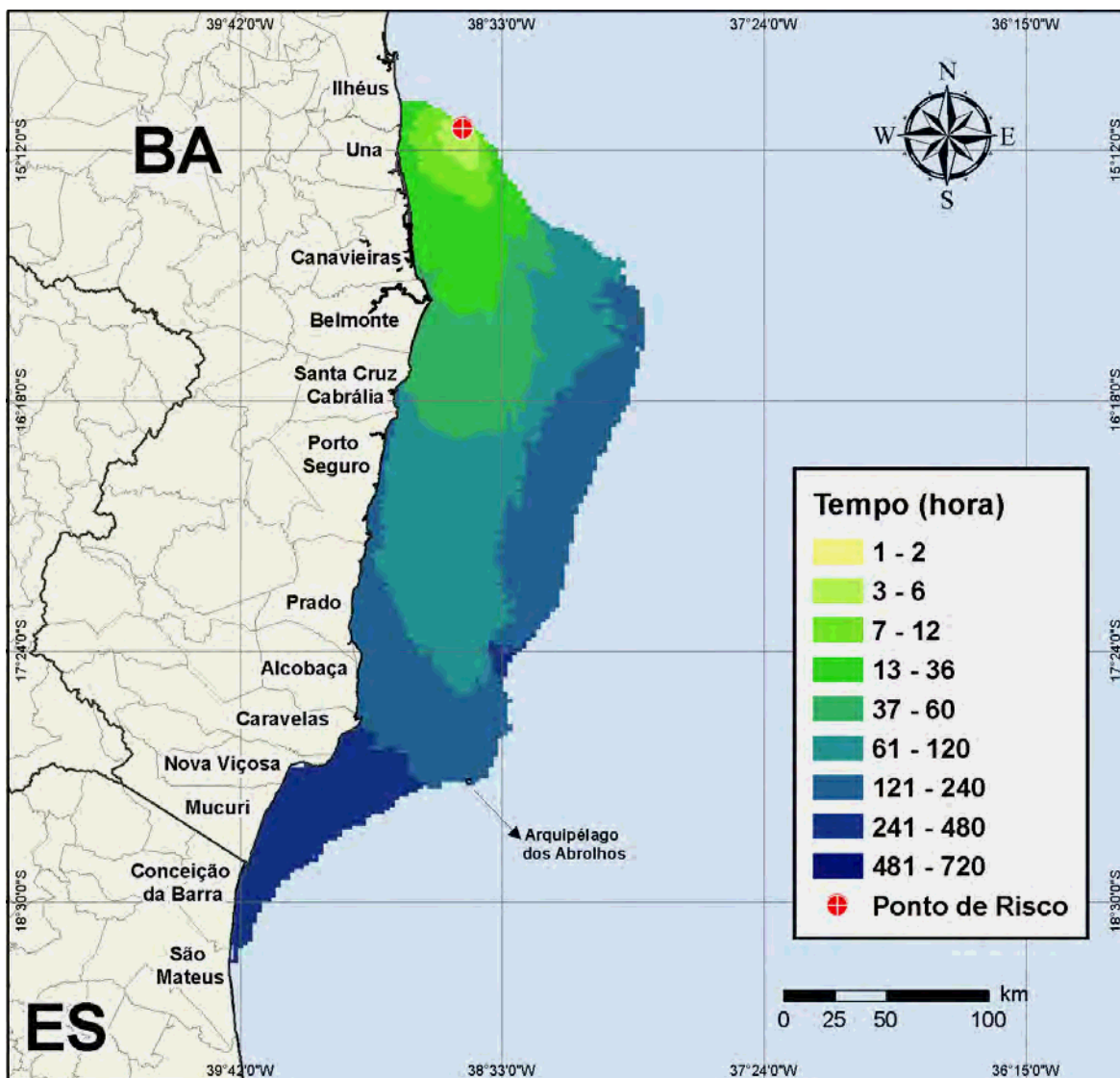


Figura V.1.1-2 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIesel_VER_8_30D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

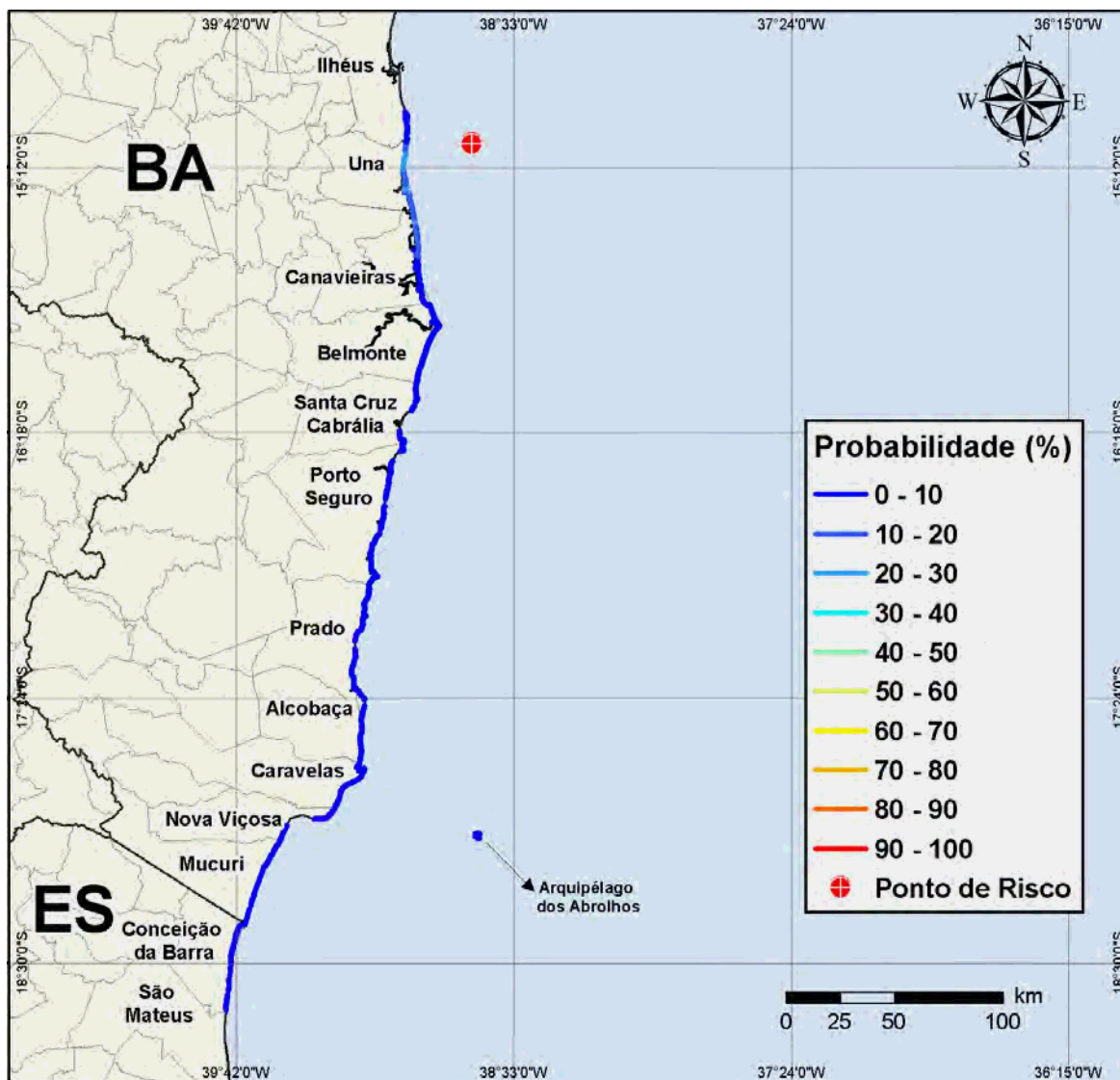


Figura V.1.1-3 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_8_30D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m^3 (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

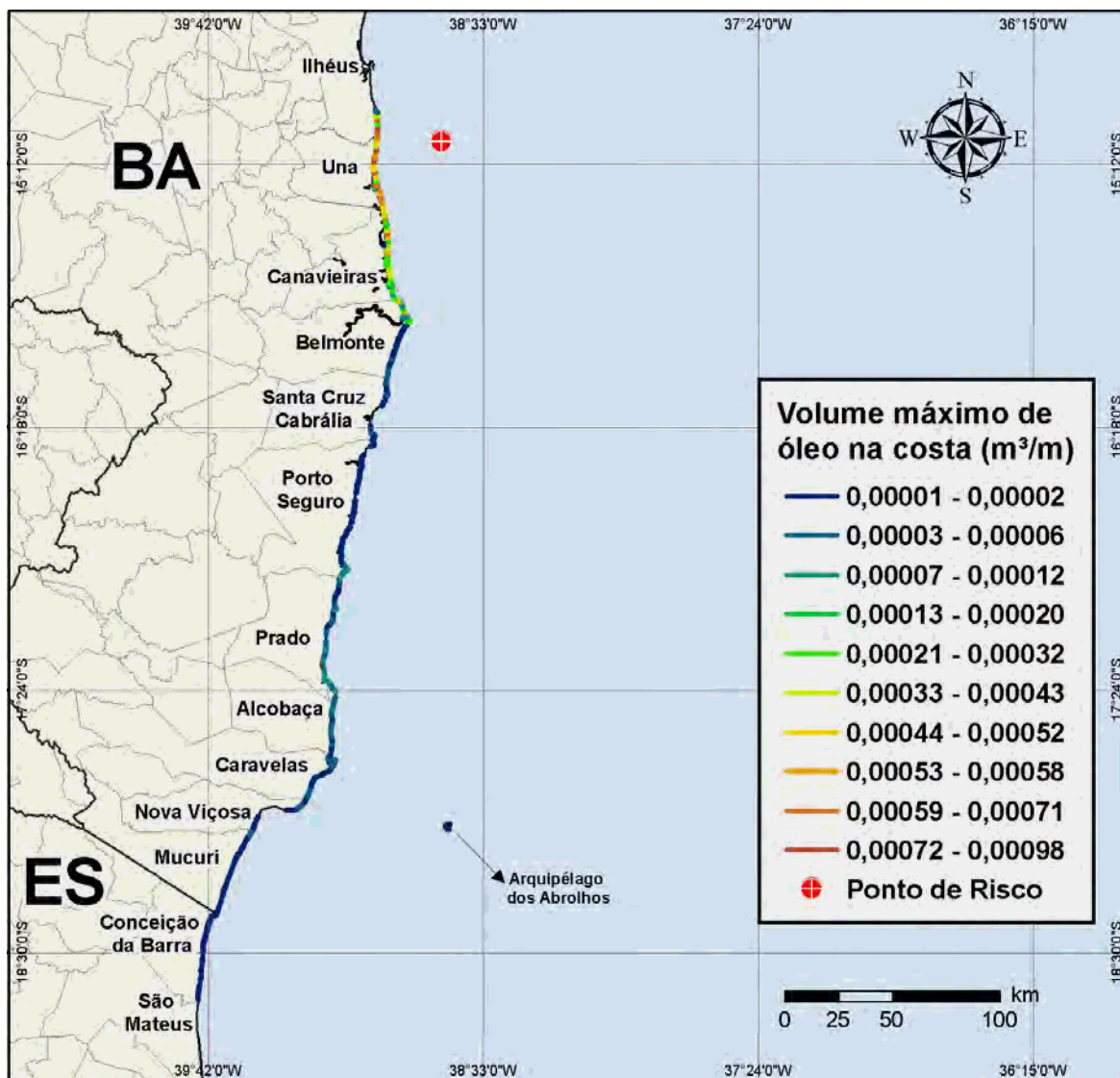


Figura V.1.1-4 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_8_30D. Volume máximo de óleo na costa (m³/m) para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

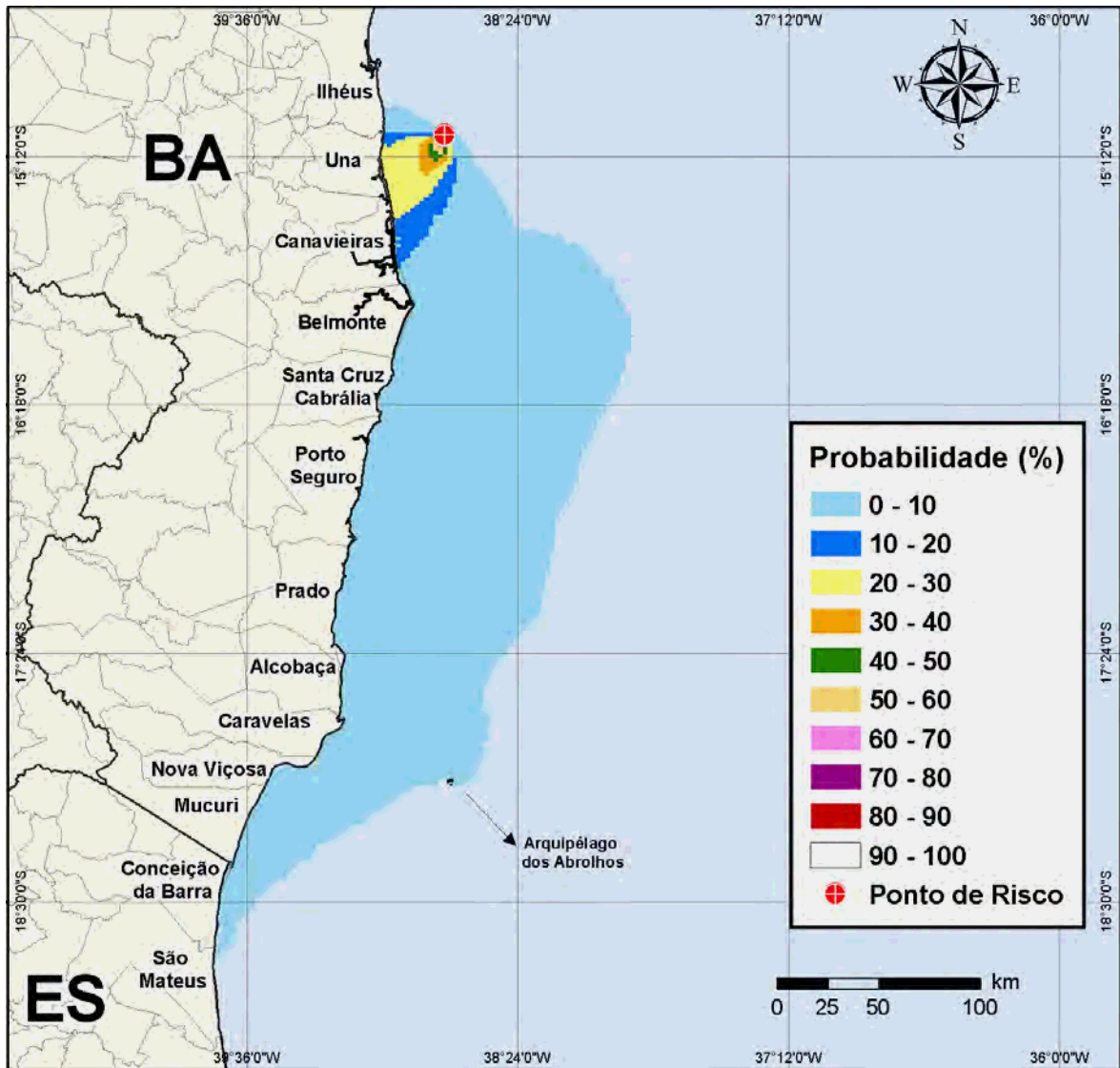


Figura V.1.1-5 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_8_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.

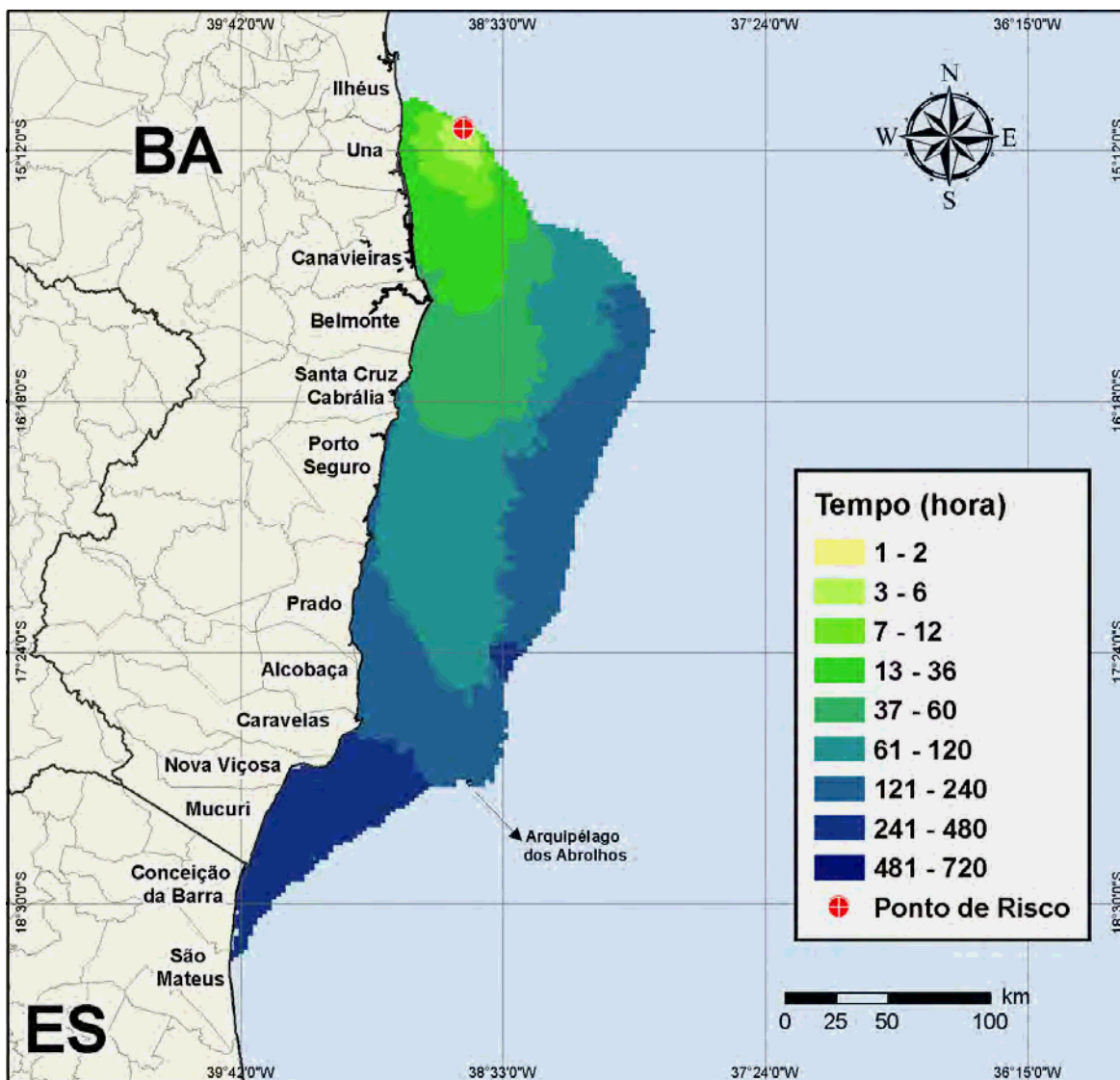


Figura V.1.1-6 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_8_30D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.

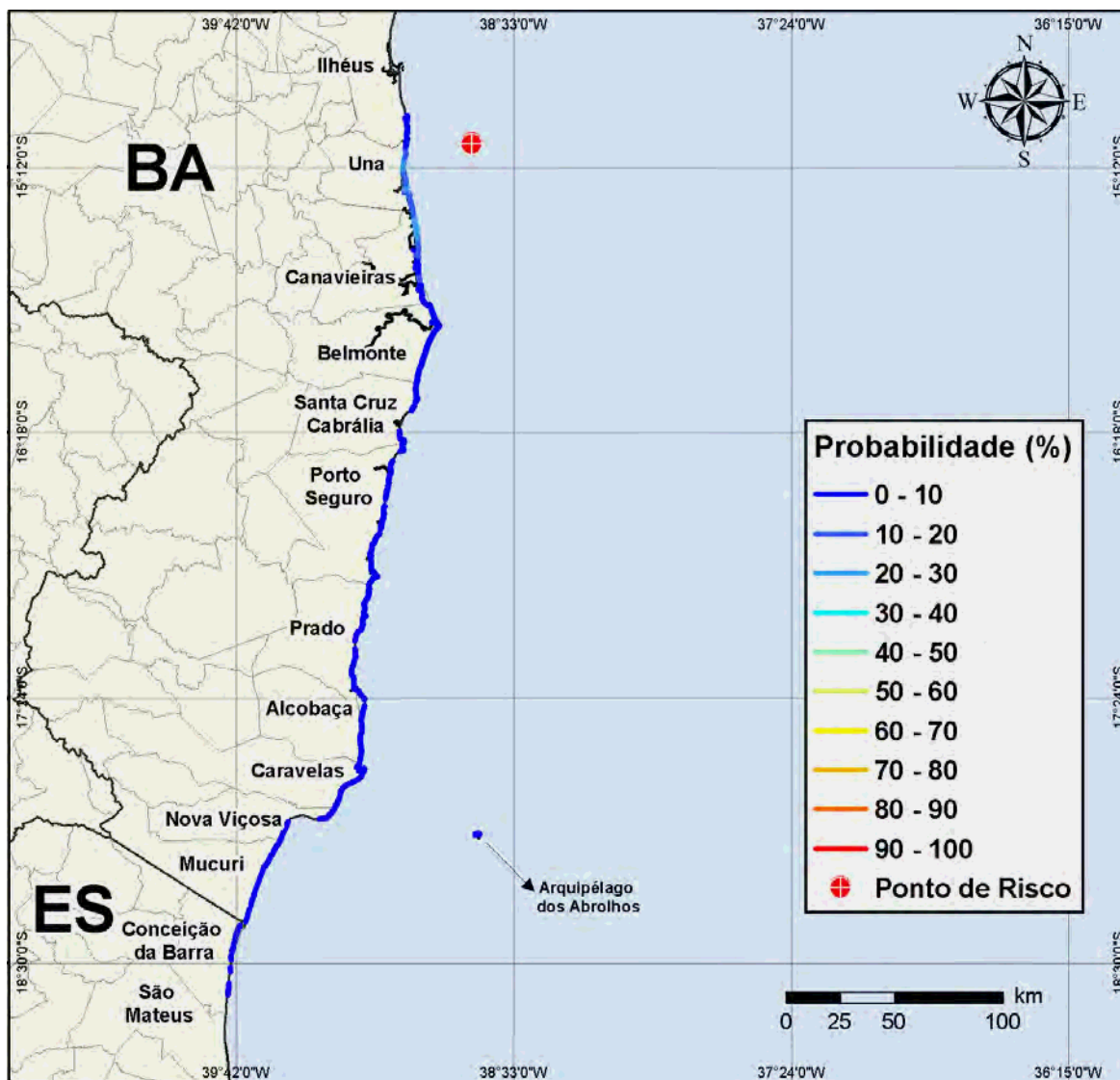


Figura V.1.1-7 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_8_30D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.

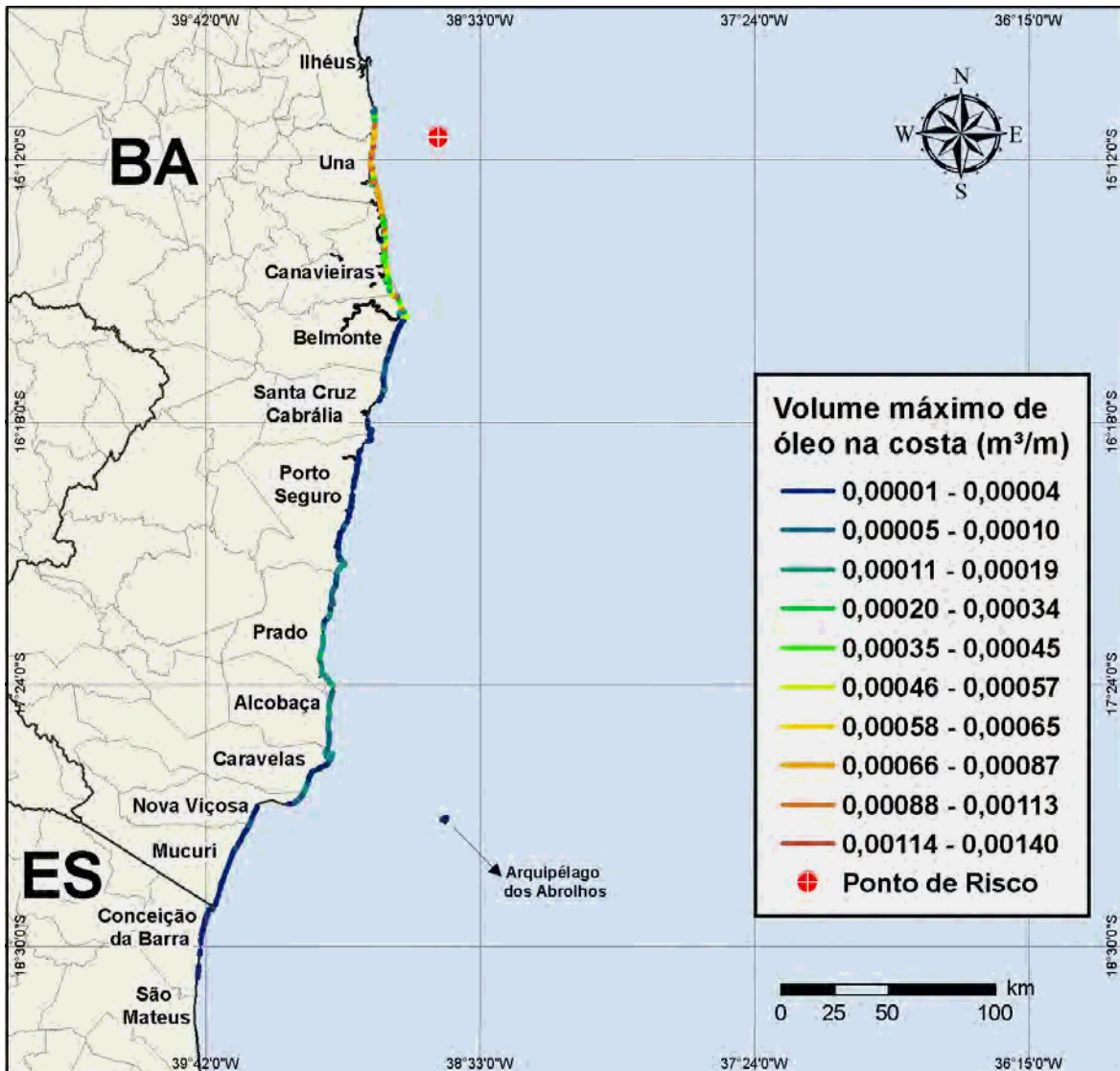


Figura V.1.1-8 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_8_30D. Volume máximo de óleo na costa (m³/m) para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.

Nas figuras V.1.1-9 a V.1.1-16 são apresentados os contornos de probabilidade da presença de óleo na água, o tempo de deslocamento do óleo na água, as probabilidades de toque na linha de costa e os volumes máximos de óleo na costa, durante os meses de inverno (junho a agosto), para as simulações com volume de derrame pequeno (8 m^3).

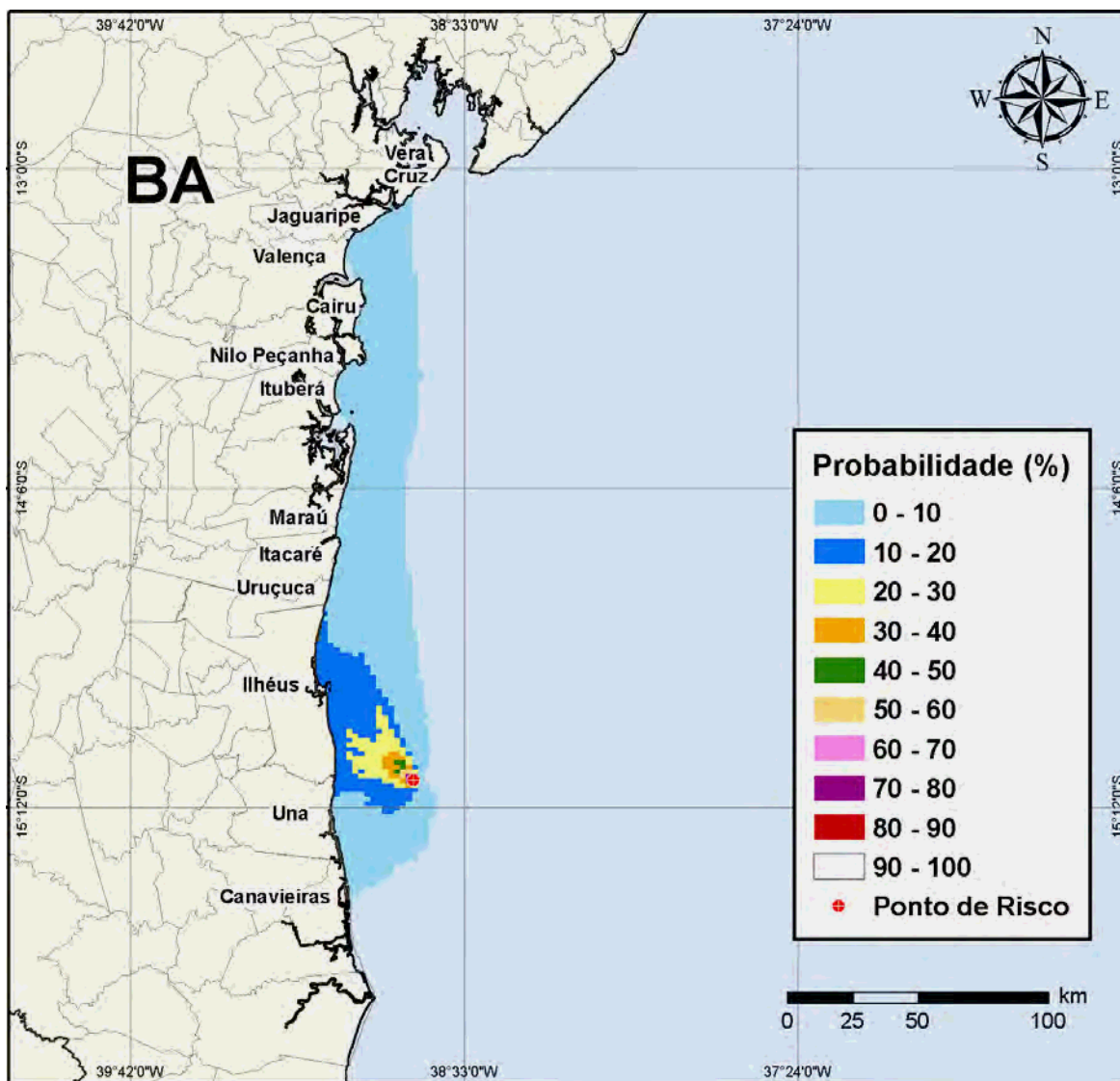


Figura V.1.1-9 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_8_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m^3 (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

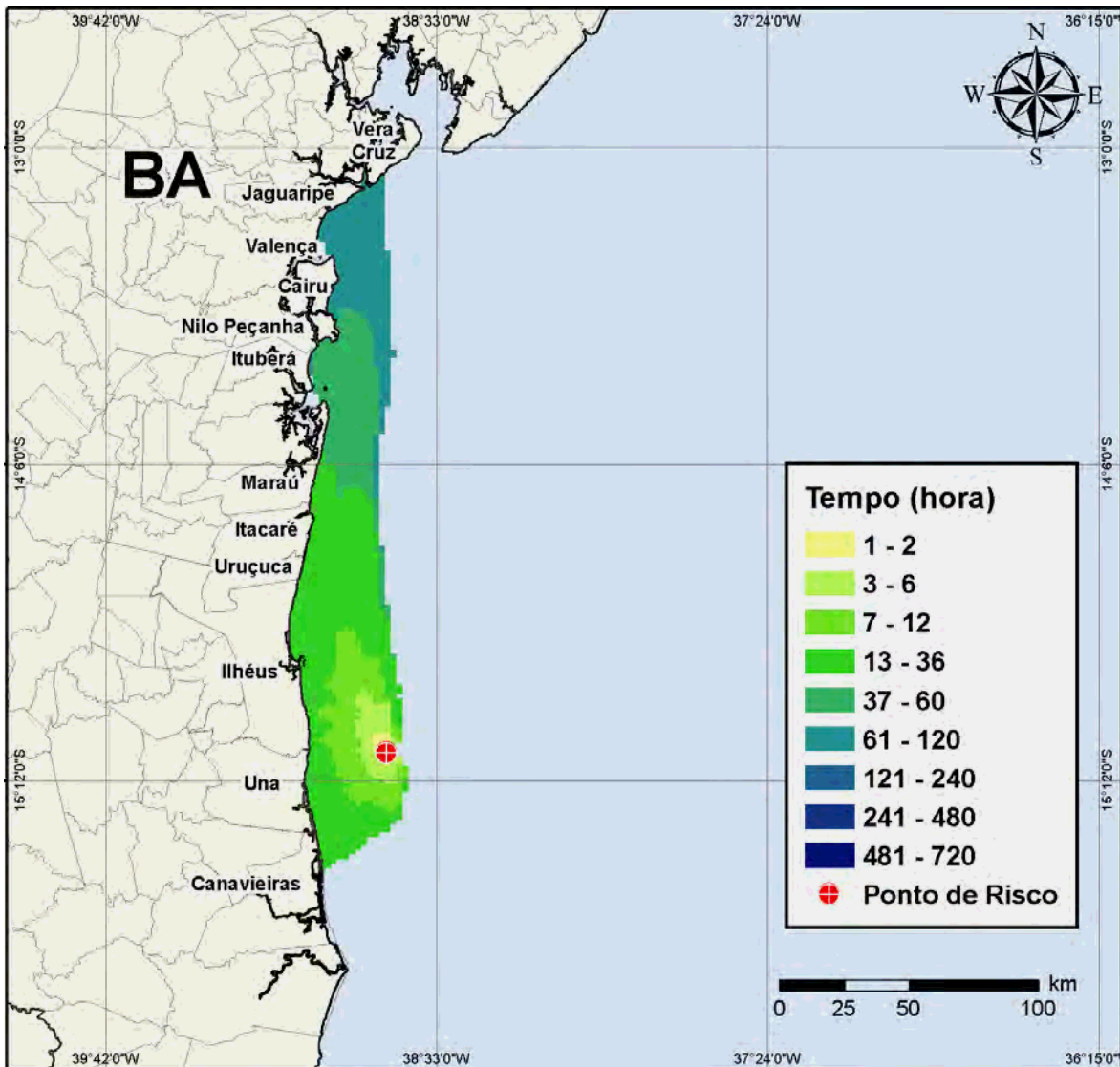


Figura V.1.1-10 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_8_30D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

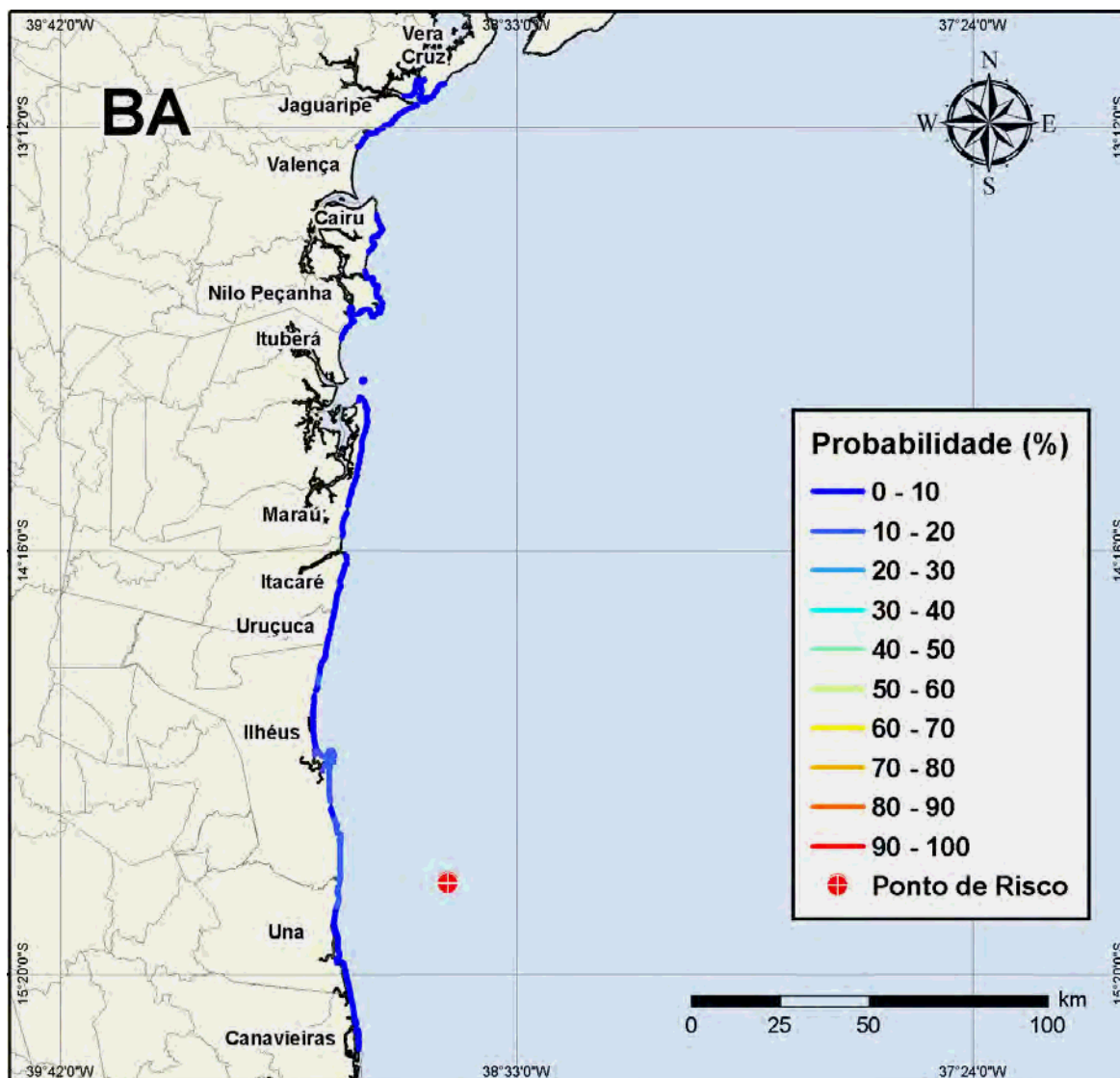


Figura V.1.1-11 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIASEL_INV_8_30D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

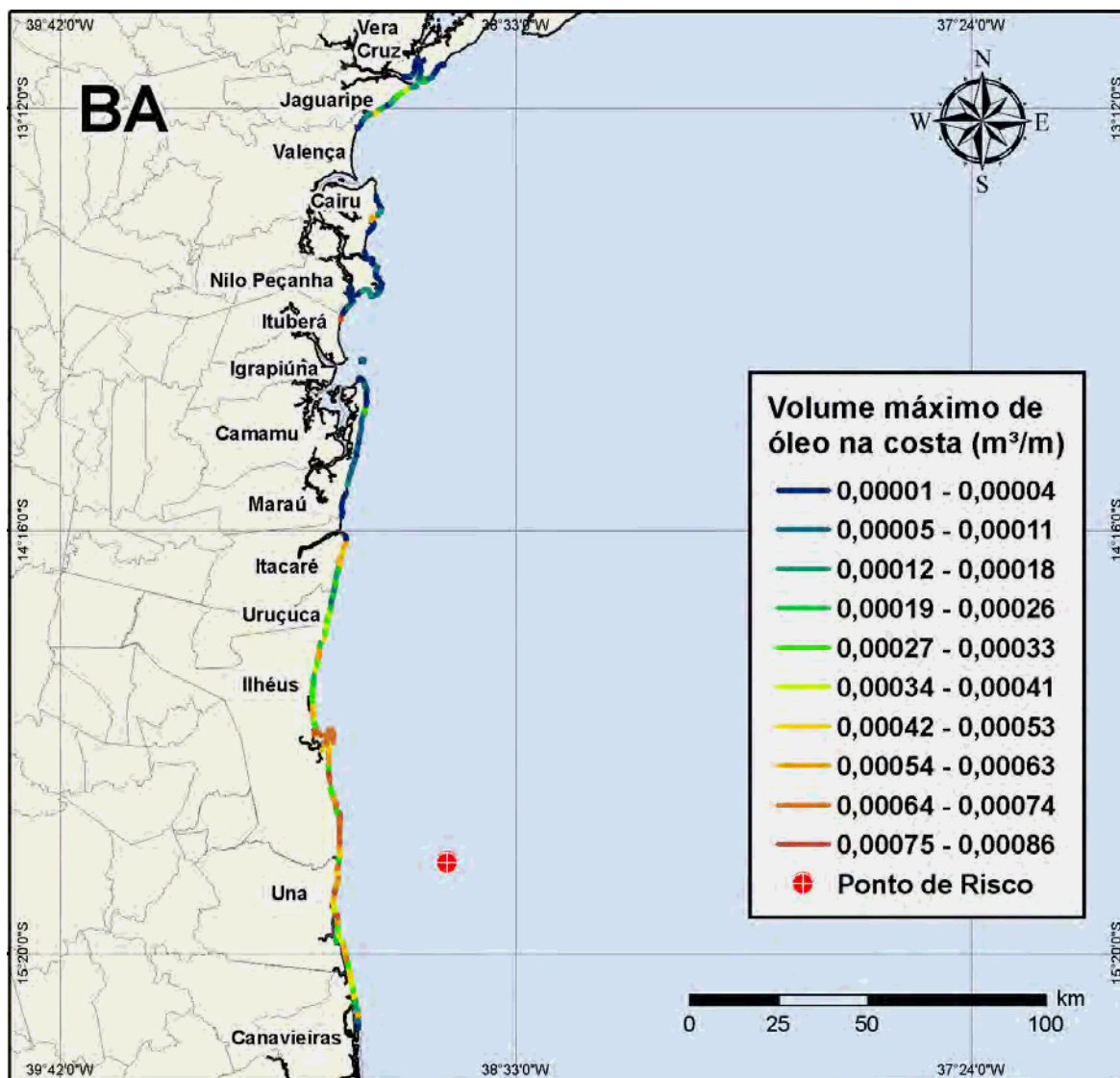


Figura V.1.1-12 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_8_30D. Volume máximo de óleo na costa (m³/m) para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

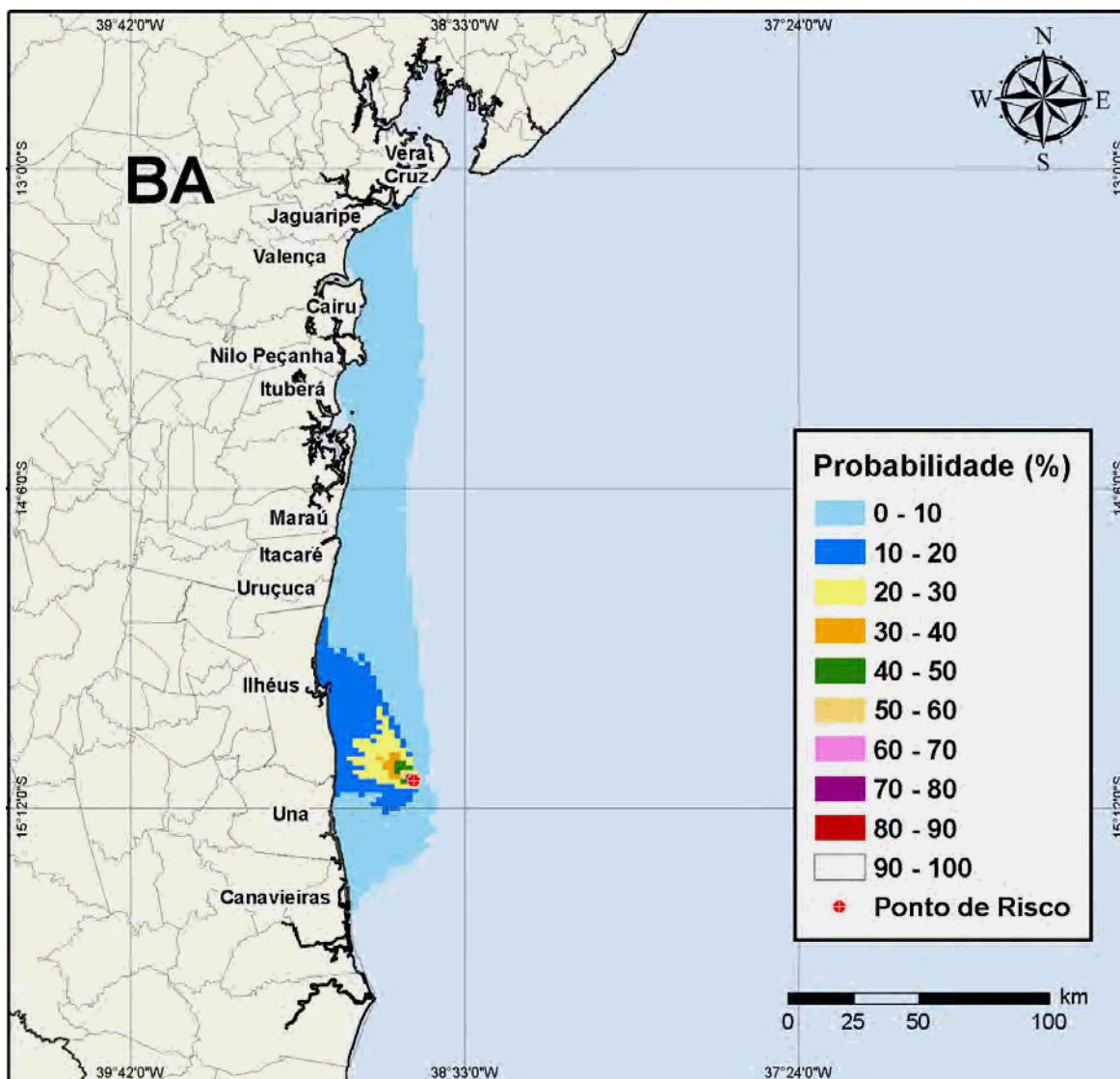


Figura V.1.1-13 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_8_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.

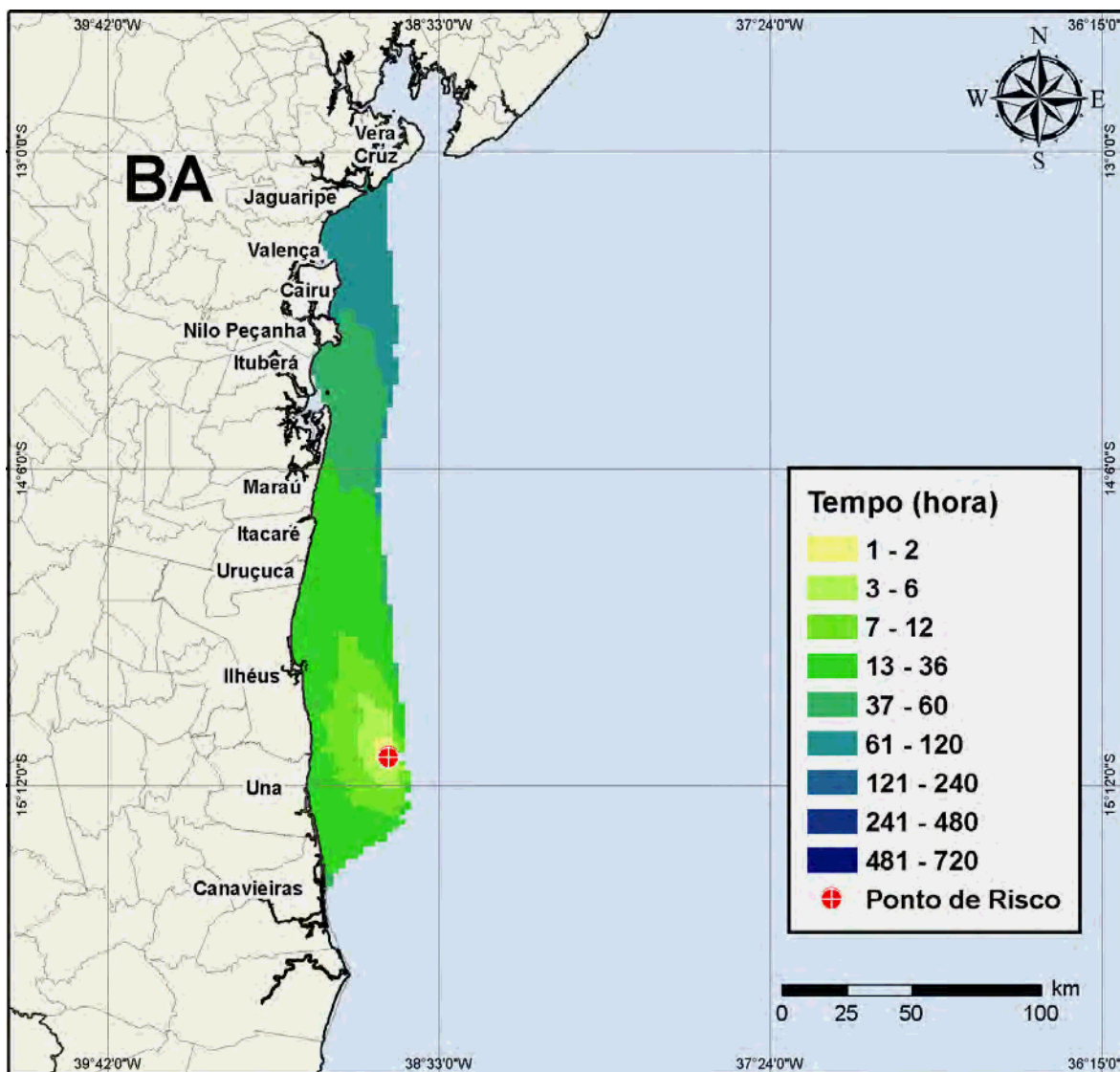


Figura V.1.1-14 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_8_30D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.

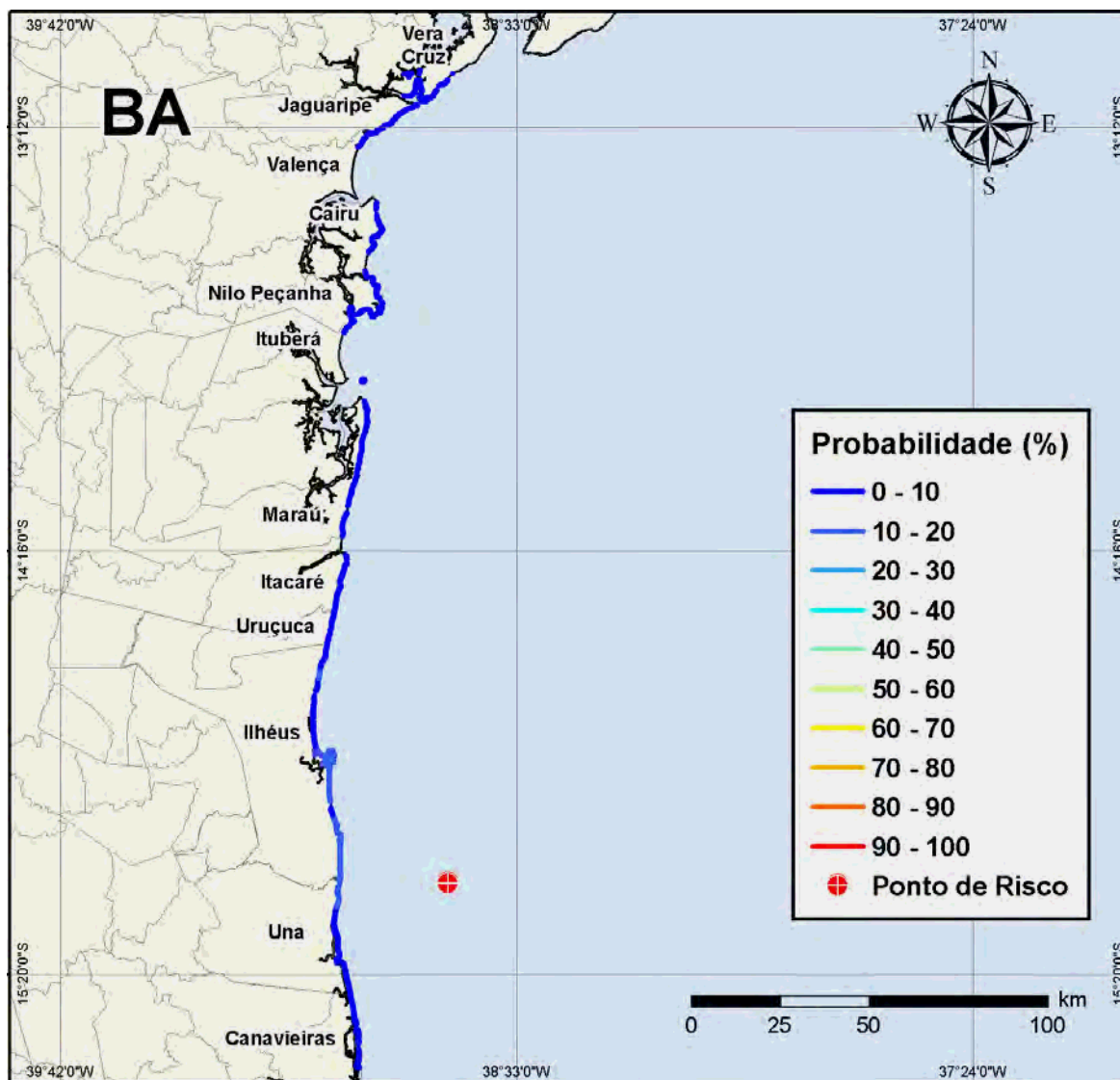


Figura V.1.1-15 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_8_30D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.

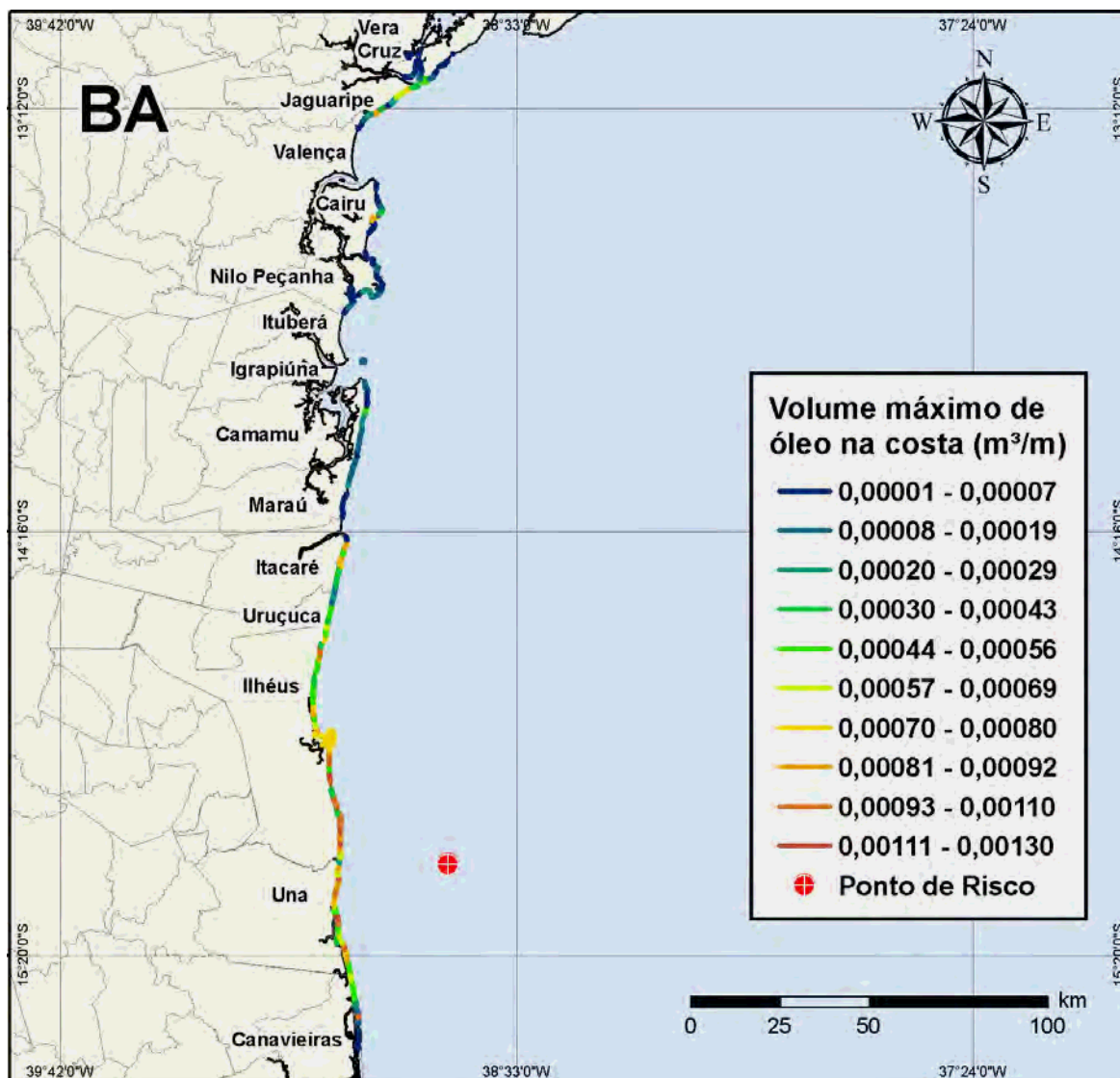


Figura V.1.1-16 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_8_30D. Volume máximo de óleo na costa (m³/m) para um acidente no ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.

A tabela V.1.1-1 apresenta o percentual de simulações que impactaram a linha de costa, o menor período de tempo e o tempo médio para o óleo atingir a costa, para os acidentes simulados com volume pequeno, ocorrendo durante os meses de verão e inverno.

Tabela V.1.1-1 - Resumo dos resultados da modelagem probabilística com volume pequeno.

CENÁRIOS	TEMPO MÍNIMO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	PERCENTAGEM DE SIMULAÇÕES COM TOQUE NA COSTA (%)
BMJ1_LEADF2_VER_MDIESEL_8_30D	14	36,25	100
BMJ1_LEADF2_VER_BAS11_8_30D	14	38,10	100
BMJ1_LEADF2_INV_MDIESEL_8_30D	14	30,41	100
BMJ1_LEADF2_INV_BAS11_8_30D	14	30,44	100

A tabela V.1.1-2 e V.1.1-3 apresentam a probabilidade de toque e o tempo mínimo de toque na linha de costa para os municípios com probabilidade de toque, durante os meses de verão e de inverno, para os cenários com derrame de volume pequeno com óleo diesel marítimo e tipo BAS-11, respectivamente. Observa-se que, independente do tipo de óleo simulado, o primeiro toque ocorreu no Município de Una (BA) no verão e em Ilhéus (BA) no inverno. As maiores probabilidades de toque na costa, no verão, para ambos os tipos de óleo, ocorreram nos municípios de Una e Canavieiras, Estado da Bahia, enquanto no inverno as maiores probabilidades foram calculadas para Ilhéus e Una. Vale ressaltar que, para todos os casos aqui analisados, as probabilidades de toque de óleo na costa não ultrapassaram 30%. Por fim, observa-se, também, que as simulações com óleo tipo BAS-11, devido às menores taxas de evaporação, apresentaram volumes máximos de óleo na costa superiores aos das simulações com óleo diesel marítimo.

Tabela V.1.1-2 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo diesel marítimo nos períodos de verão e inverno, com derrame de volume pequeno.

NOME DO MUNICÍPIO	PROBABILIDADE (%)		TEMPO MÍNIMO DE TOQUE (HORAS)		VOLUME MÁXIMO NA COSTA (m³/m)		
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	
BA	Vera Cruz	N.A	1	N.A	88	N.A	0,00022
	Jaguaripe	N.A	3	N.A	81	N.A	0,00051
	Valença	N.A	2	N.A	79	N.A	0,00013
	Cairu	N.A	2	N.A	55	N.A	0,00056
	Nilo Peçanha	N.A	2	N.A	60	N.A	0,00005
	Ituberá	N.A	1	N.A	64	N.A	0,00001
	Maraú	N.A	4	N.A	31	N.A	0,00033
	Ilha de Queipe	N.A	2	N.A	49	N.A	0,00007
	Itacaré	N.A	8	N.A	24	N.A	0,00057
	Uruçá	N.A	8	N.A	25	N.A	0,00035
	Ilhéus	10	20	15	14	0,00085	0,00086
	Una	30	17	14	17	0,0009	0,00082
	Canavieiras	22	5	20	25	0,00071	0,00057
	Belmonte	5	N.A	43	N.A	0,00056	N.A
	Santa Cruz Cabrália	2	N.A	53	N.A	0,00006	N.A
	Porto Seguro	4	N.A	70	N.A	0,0001	N.A
	Prado	7	N.A	142	N.A	0,00015	N.A
	Alcobaça	5	N.A	210	N.A	0,00008	N.A
	Caravelas	3	N.A	234	N.A	0,00005	N.A
	Arquipélago dos Abrolhos	1	N.A	156	N.A	0,00001	N.A
Nova Viçosa	1	N.A	259	N.A	0,00004	N.A	
Mucuri	2	N.A	295	N.A	0,0003	N.A	
ES	Conceição da Barra	1	N.A	383	N.A	0,00001	N.A

N.A. = não aplicável (não há probabilidade de toque nestes municípios).

Tabela V.1.1-3 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo tipo BAS-11 nos períodos de verão e inverno, com derrame de volume pequeno.

NOME DO MUNICÍPIO	PROBABILIDADE (%)		TEMPO MÍNIMO DE TOQUE (HORAS)		VOLUME MÁXIMO NA COSTA (m³/m)		
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	
BA	Vera Cruz	N.A	1	N.A	91	N.A	0,00048
	Jaguaripe	N.A	3	N.A	80	N.A	0,00089
	Valença	N.A	2	N.A	78	N.A	0,00027
	Cairu	N.A	2	N.A	55	N.A	0,00092
	Ituberá	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
	Nilo Peçanha	N.A	1	N.A	61	N.A	0,00008
	Maraú	N.A	4	N.A	33	N.A	0,00054
	Ilha de Queipe	N.A	2	N.A	49	N.A	0,00016
	Itacaré	N.A	8	N.A	24	N.A	0,00089
	Uruçá	N.A	8	N.A	25	N.A	0,0066
	Ilhéus	8	20	15	14	0,00109	0,00126
	Una	27	18	14	16	0,0014	0,0013
	Canavieiras	25	5	20	26	0,00113	0,00096
	Belmonte	8	N.A	40	N.A	0,0009	N.A
	Santa Cruz Cabrália	2	N.A	55	N.A	0,00012	N.A
	Porto Seguro	4	N.A	78	N.A	0,00015	N.A
	Prado	6	N.A	127	N.A	0,00034	N.A
	Alcobaça	5	N.A	208	N.A	0,00017	N.A
	Caravelas	3	N.A	233	N.A	0,00014	N.A
	Arquipélago dos Abrolhos	1	N.A	157	N.A	0,00001	N.A
Nova Viçosa	2	N.A	261	N.A	0,00009	N.A	
Mucuri	1	N.A	298	N.A	0,00007	N.A	
ES	São Mateus	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
	Conceição da Barra	1	N.A	383	N.A	0,00001	N.A

N.A. = não aplicável (não há probabilidade de toque nestes municípios).

Na tabela V.1.1-4 são apresentados os valores mínimos e máximos de óleo na superfície, evaporado, na coluna d'água e na costa (balanço de massa) ao final das 450 simulações determinísticas que compõem cada cenário probabilístico com derrame de 8 m³. Observa-se que as taxas de evaporação variaram de 76 a 79% nos cenários com óleo diesel marítimo, e de 37 a 40% nos cenários com derrames de óleo BAS-11.

Tabela V.1.1-4 - Resumo do balanço de massa dos cenários probabilísticos com volume pequeno.

CENÁRIOS	% NA SUPERFÍCIE		% EVAPORADO		% NA COLUNA D'ÁGUA		% NA COSTA	
	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.
BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_8_30D	0,00	0,00	76,81	79,74	0,00	0,00	20,20	23,11
BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_8_30D	0,00	0,00	37,32	40,25	0,00	0,00	59,74	62,8
BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_8_30D	0,00	0,00	76,19	76,82	0,00	0,00	21,75	23,17
BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_8_30D	0,00	0,00	37,31	37,81	0,00	0,00	62,54	62,66

V.1.2 Simulações Probabilísticas para os Derrames Com Volume Médio

Nas figuras V.1.2-1 a V.1.2-8 são apresentados os contornos de probabilidade da presença de óleo na água, o tempo de deslocamento do óleo na água, as probabilidades de toque na linha de costa e os volumes máximos de óleo na costa, durante os meses de verão (janeiro a março), para as simulações com volume de derrame médio (200 m³).

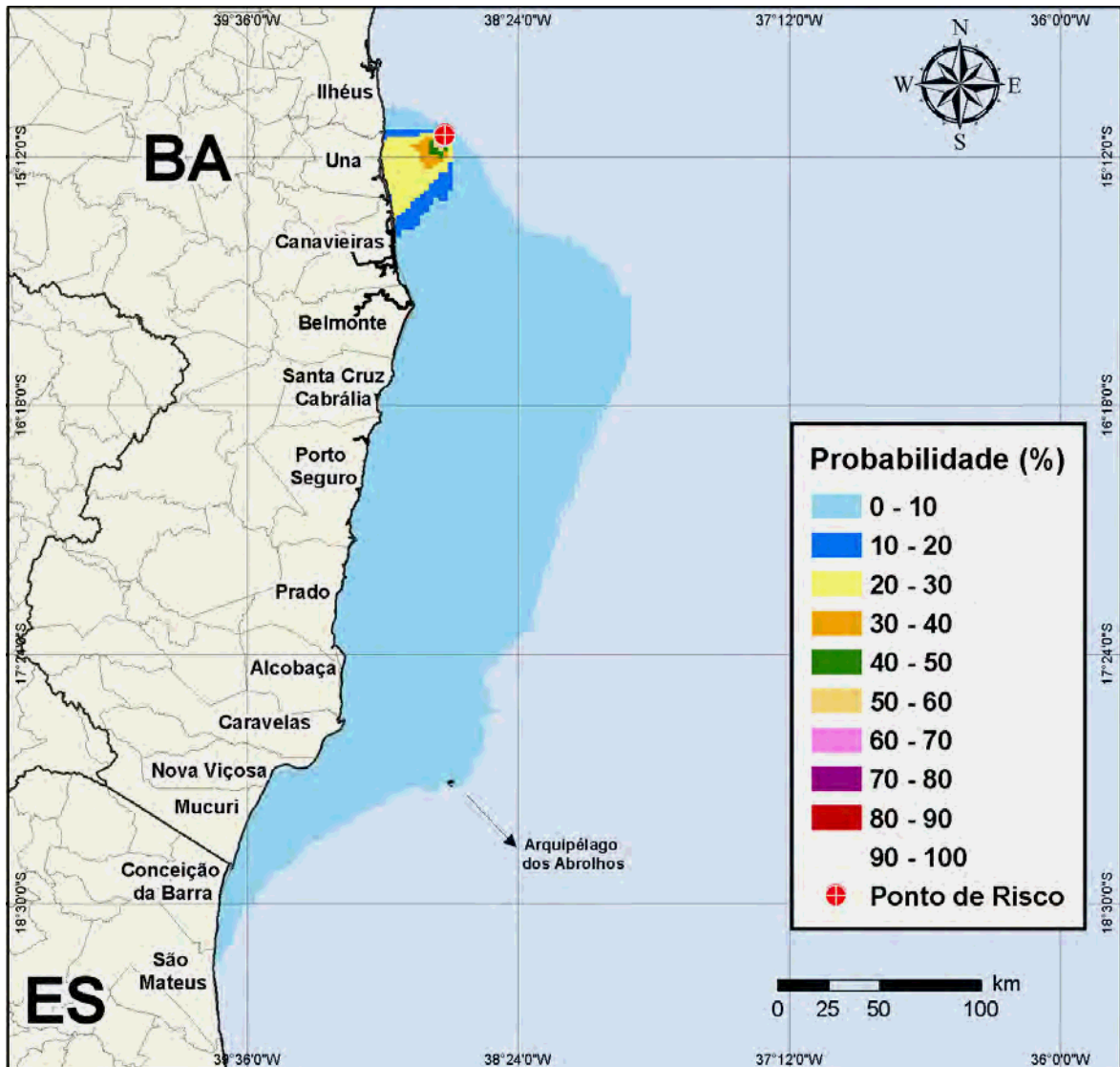


Figura V.1.2-1 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_200_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

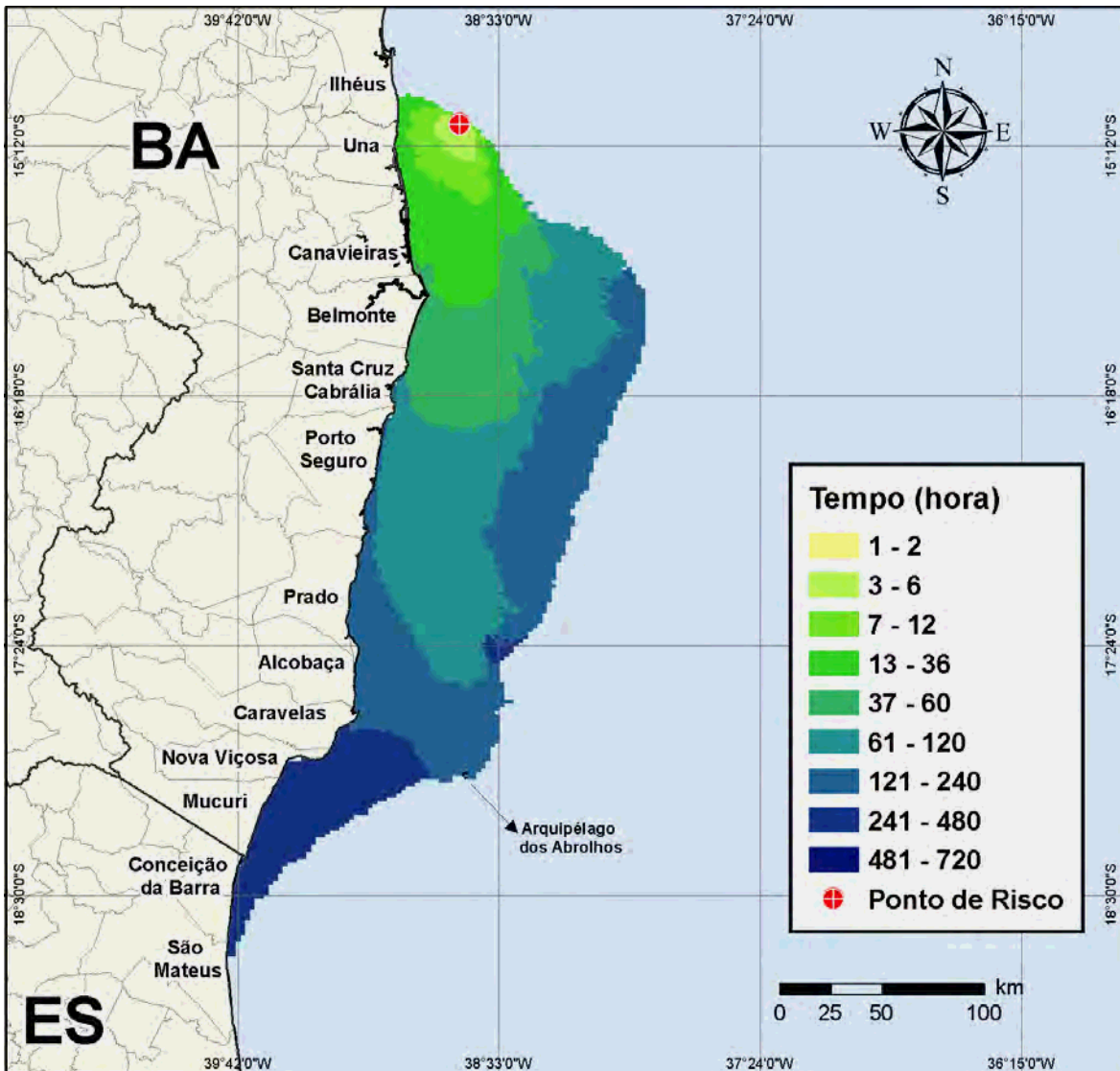


Figura V.1.2-2 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_200_30D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.



Figura V.1.2-3 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_200_30D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

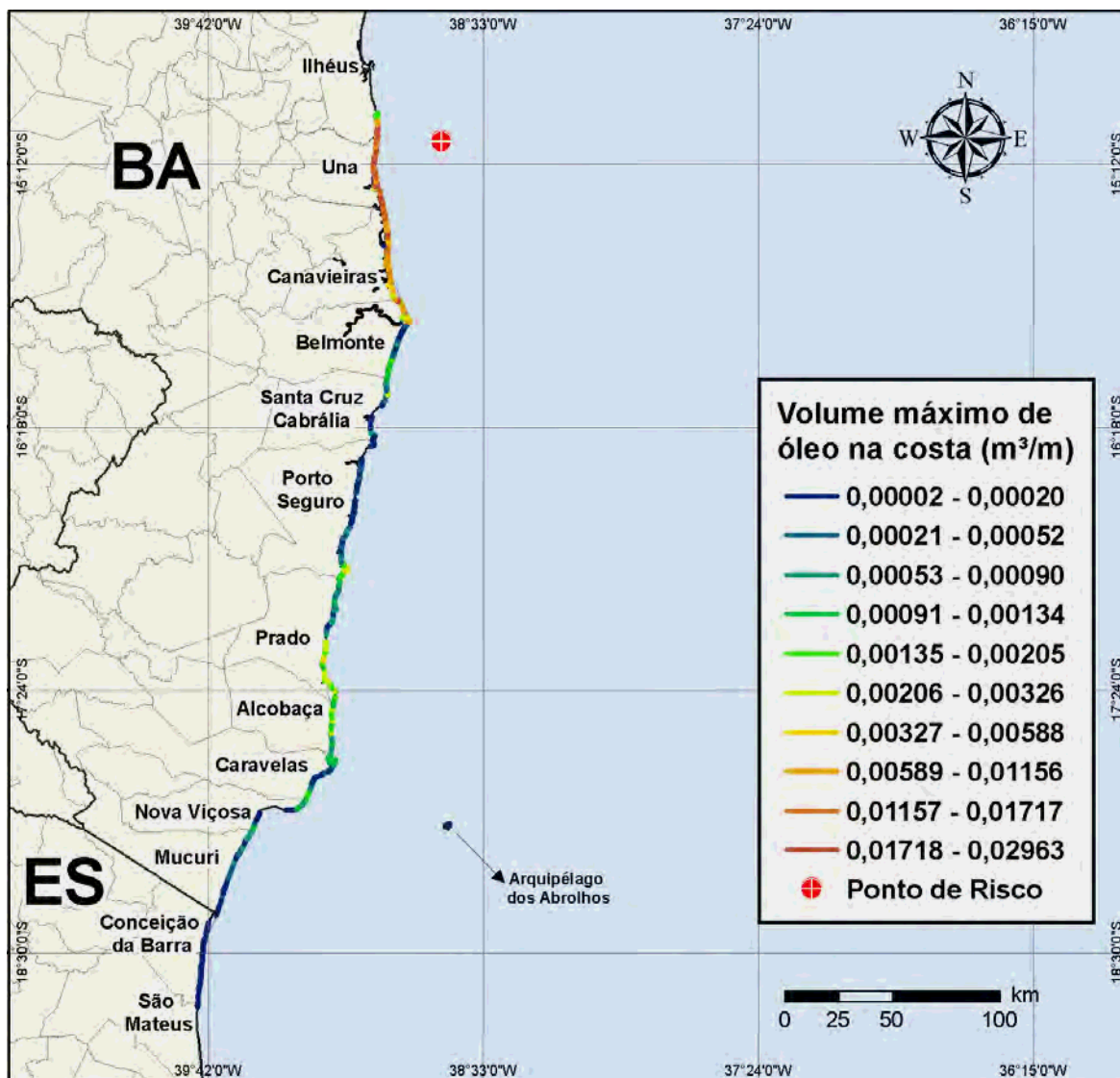


Figura V.1.2-4 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_200_30D. Volume máximo de óleo na costa (m³/m) para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

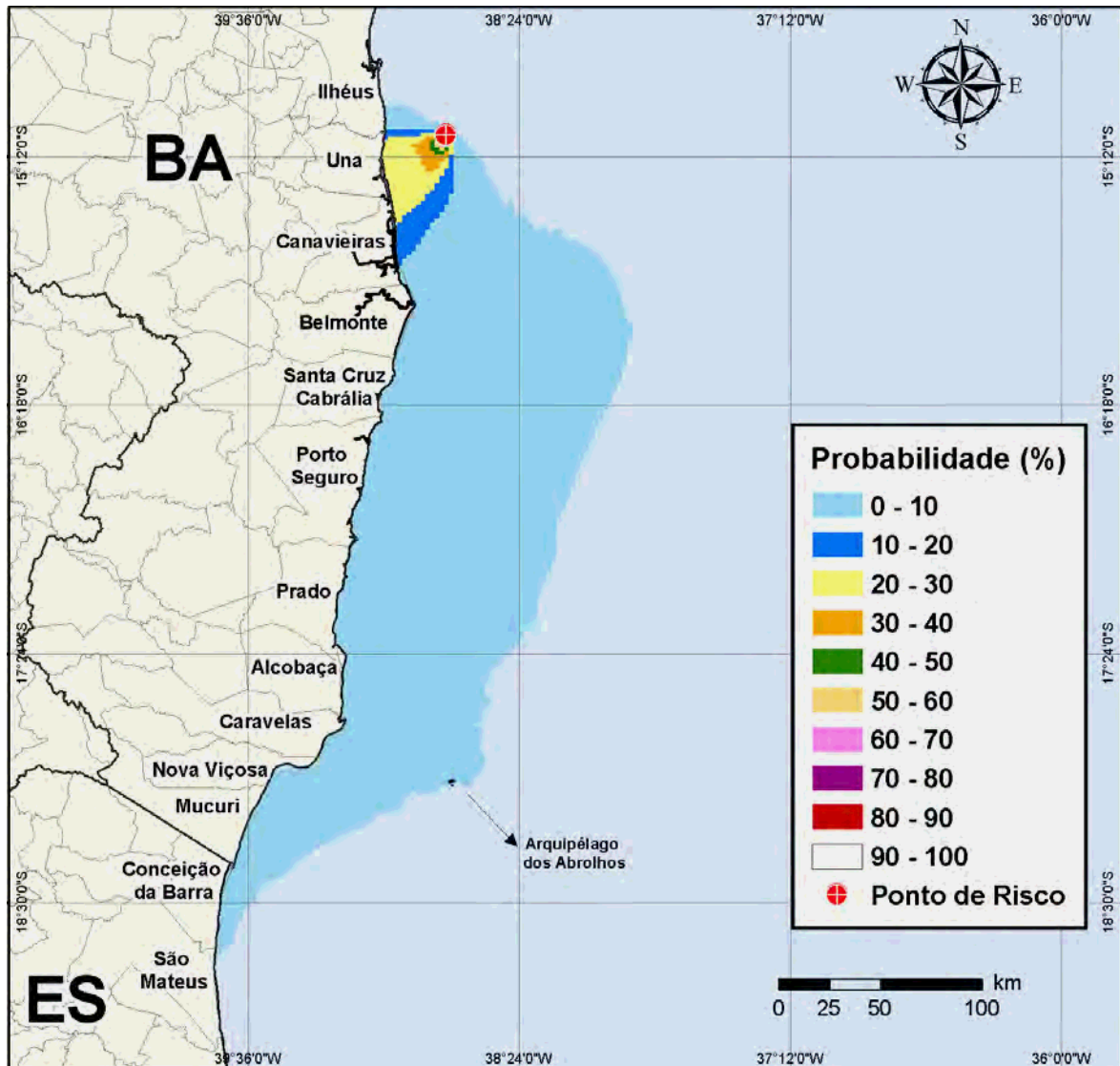


Figura V.1.2-5 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_200_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.

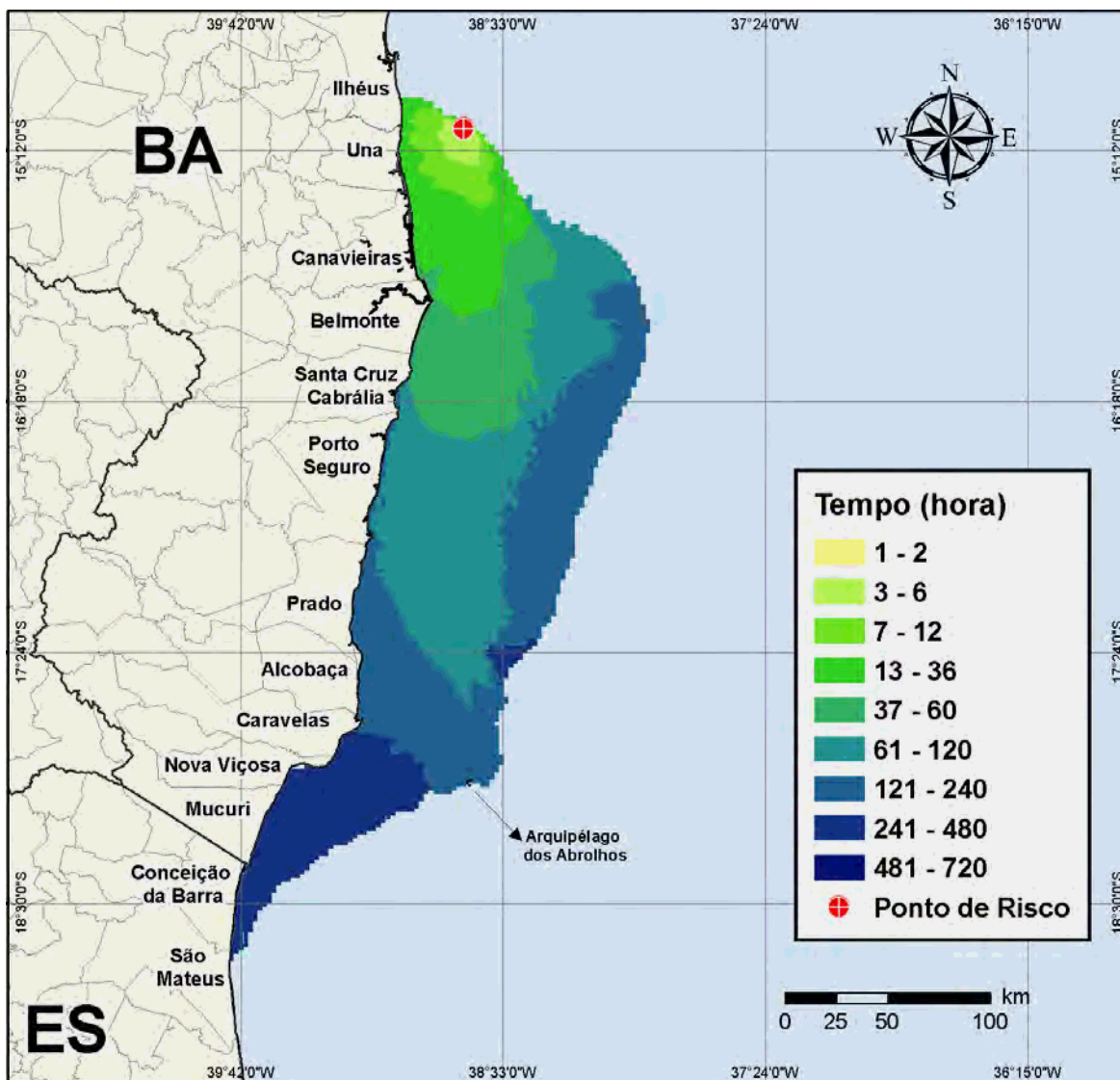


Figura V.1.2-6 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_200_30D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.

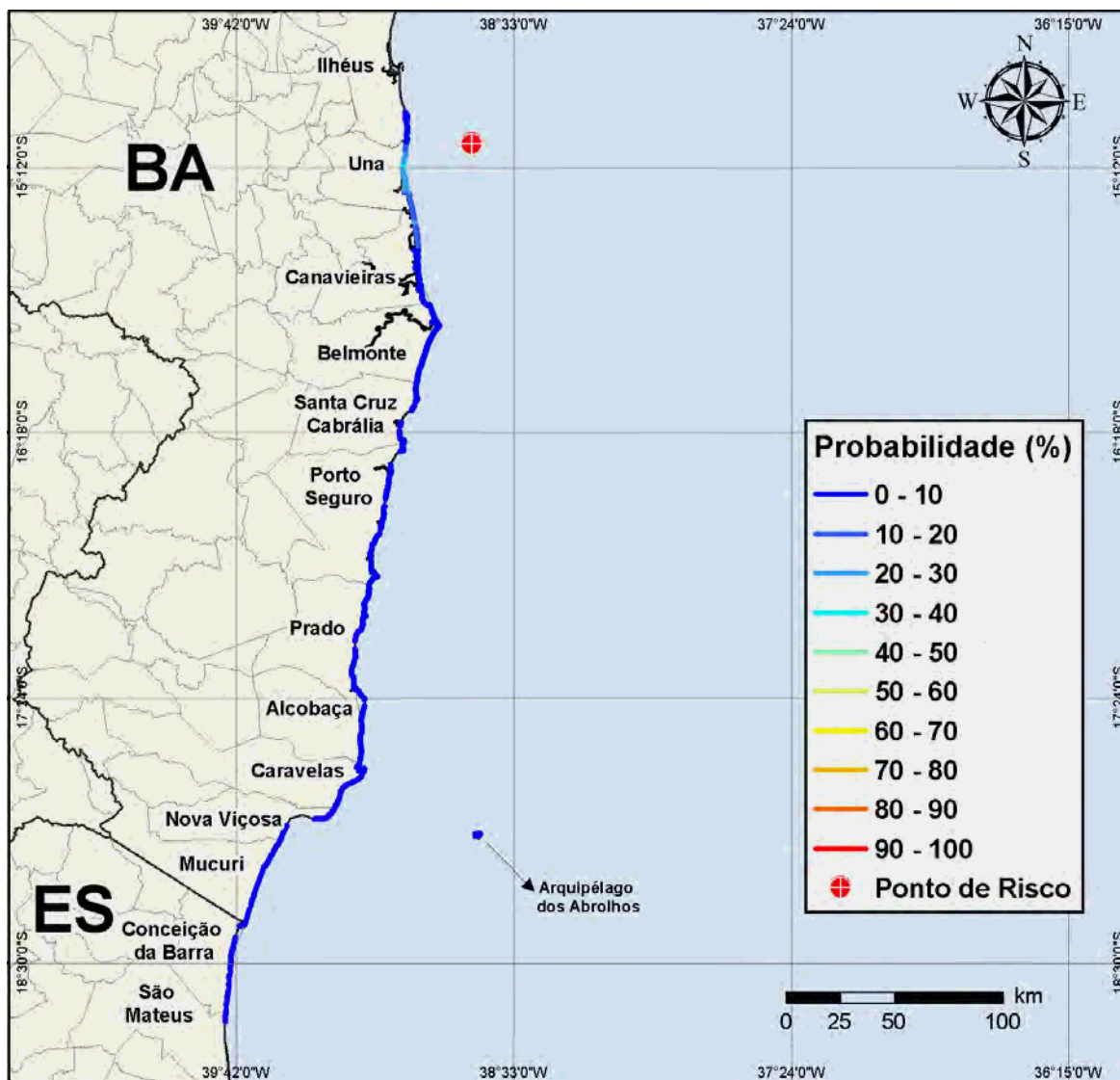


Figura V.1.2-7 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_200_30D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.

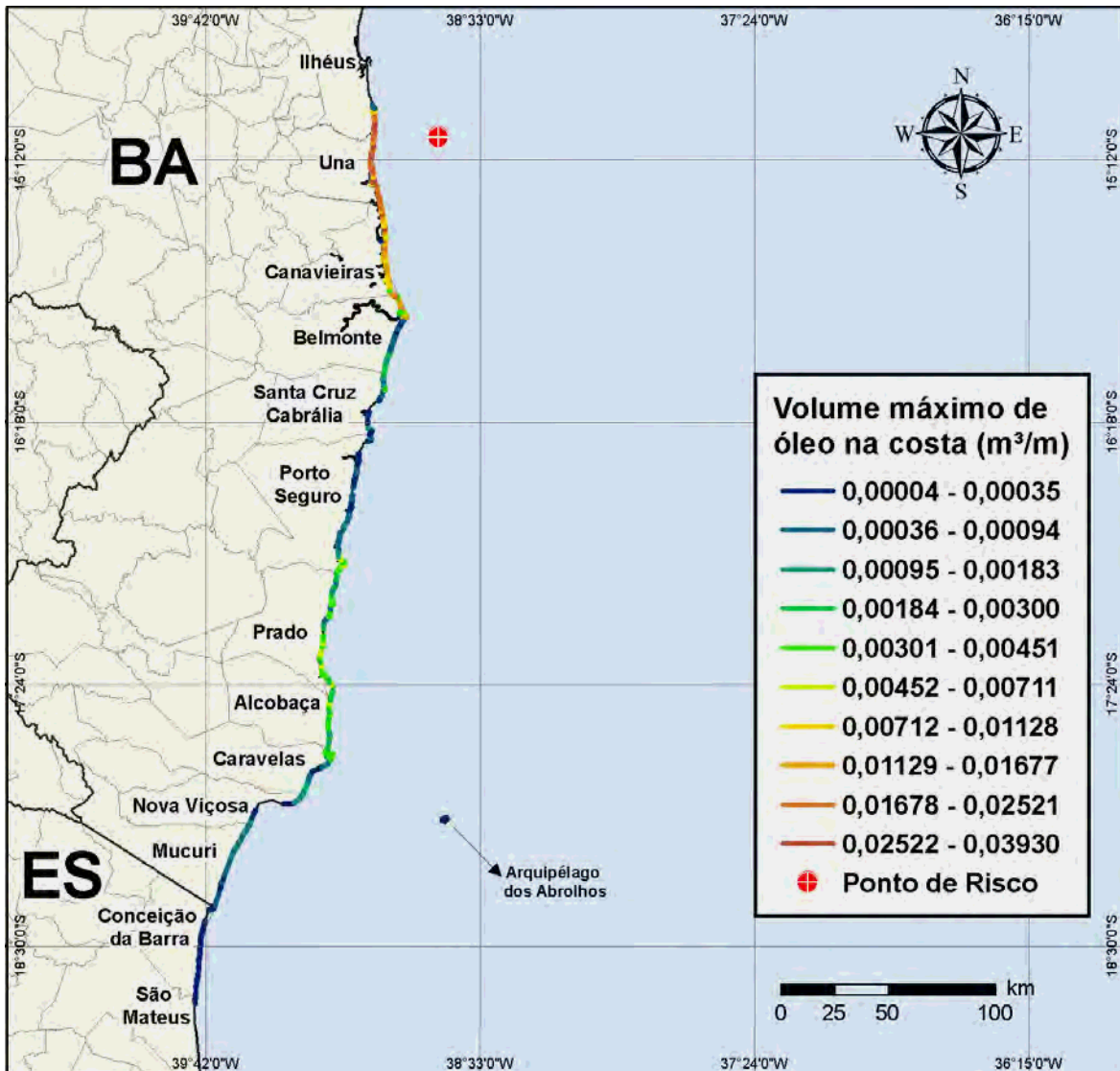


Figura V.1.2-8 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_200_30D. Volume máximo de óleo na costa (m³/m) para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.

Nas figuras V.1.2-9 à V.1.2-16 são apresentados os contornos de probabilidade da presença de óleo na água, o tempo de deslocamento do óleo na água, as probabilidades de toque na linha de costa e os volumes máximos de óleo na costa, durante os meses de inverno (junho a agosto), para as simulações com volume de derrame médio (200 m³).

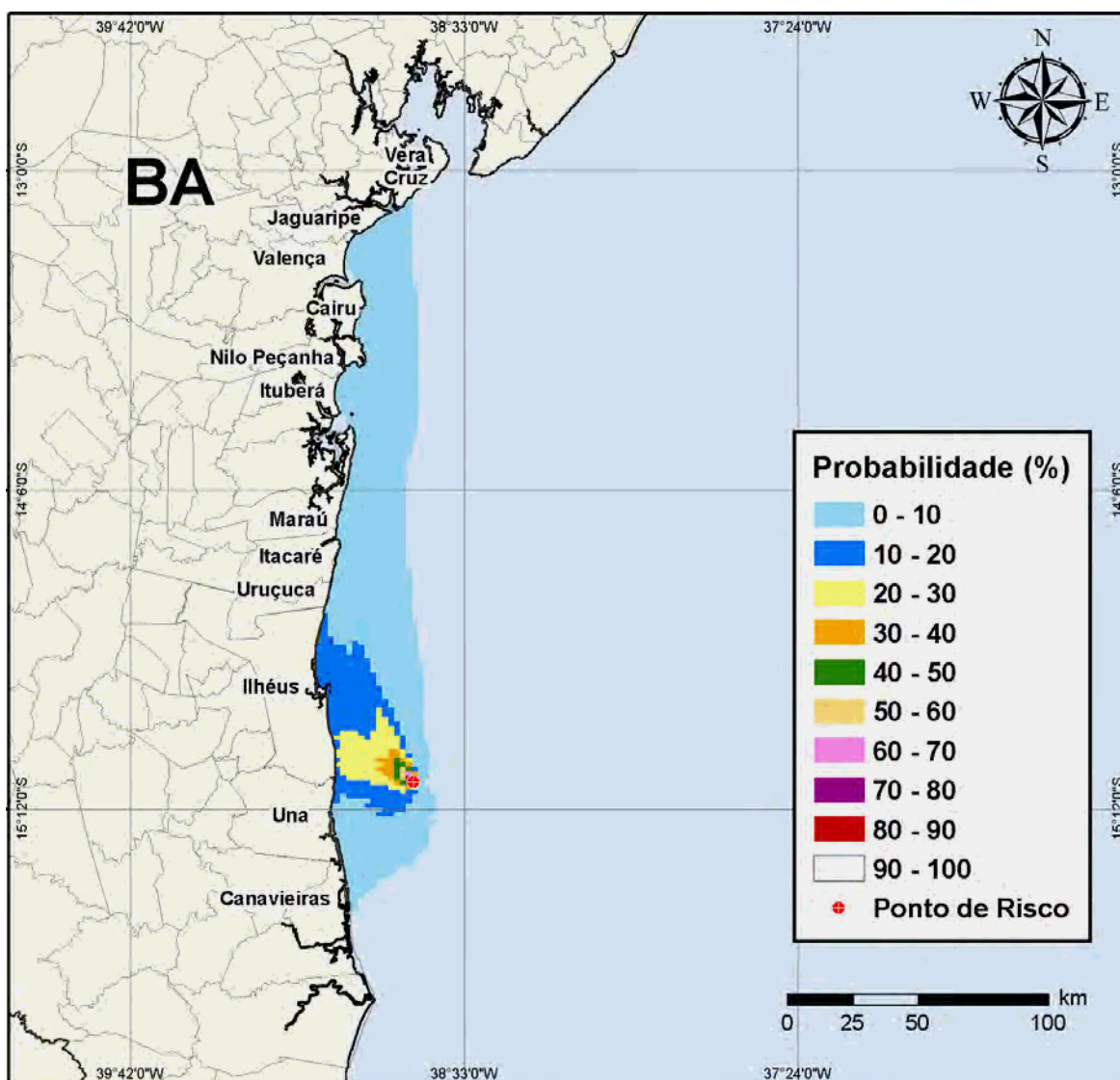


Figura V.1.2-9 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_200_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

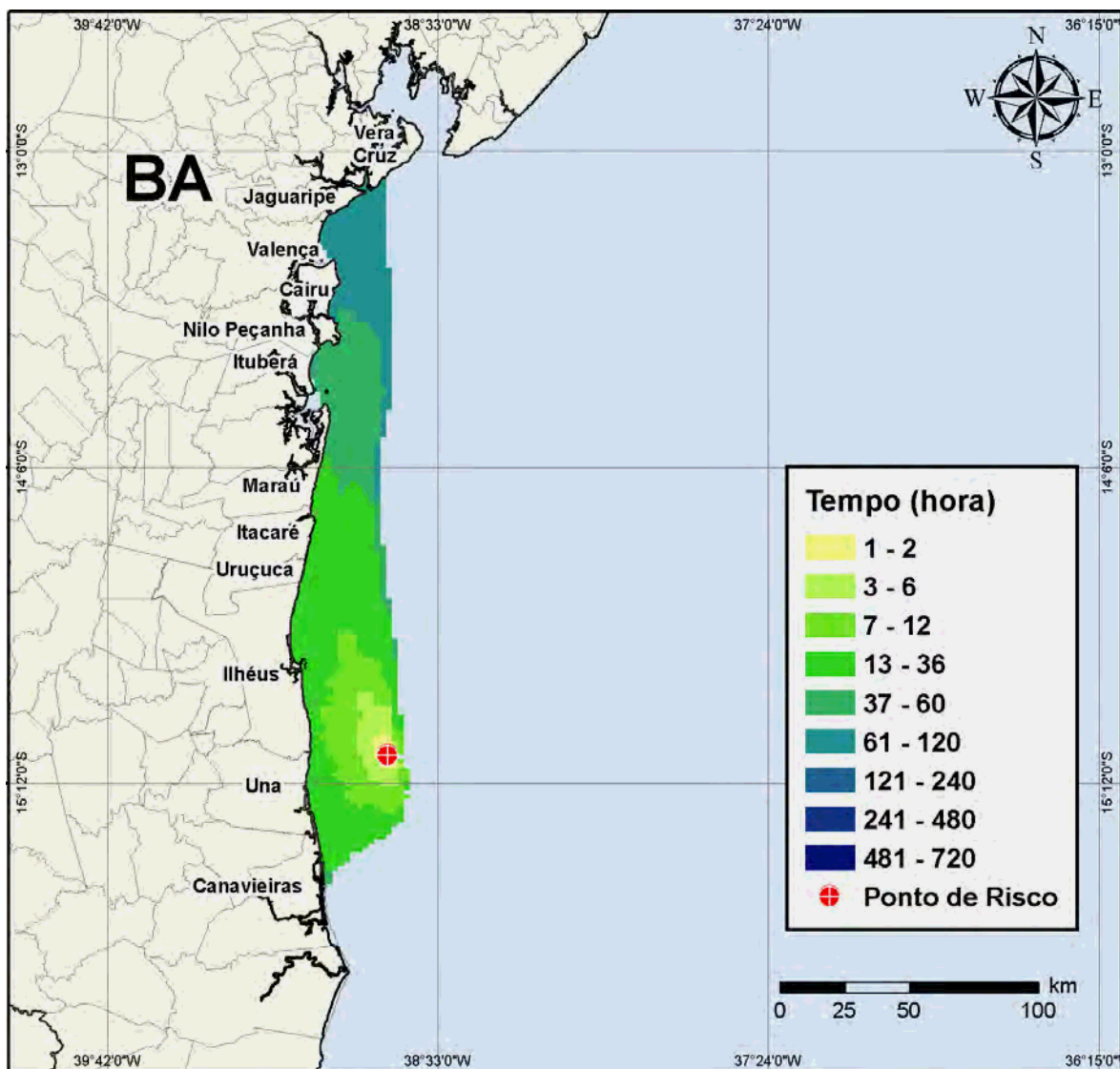


Figura V.1.2-10 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_200_30D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

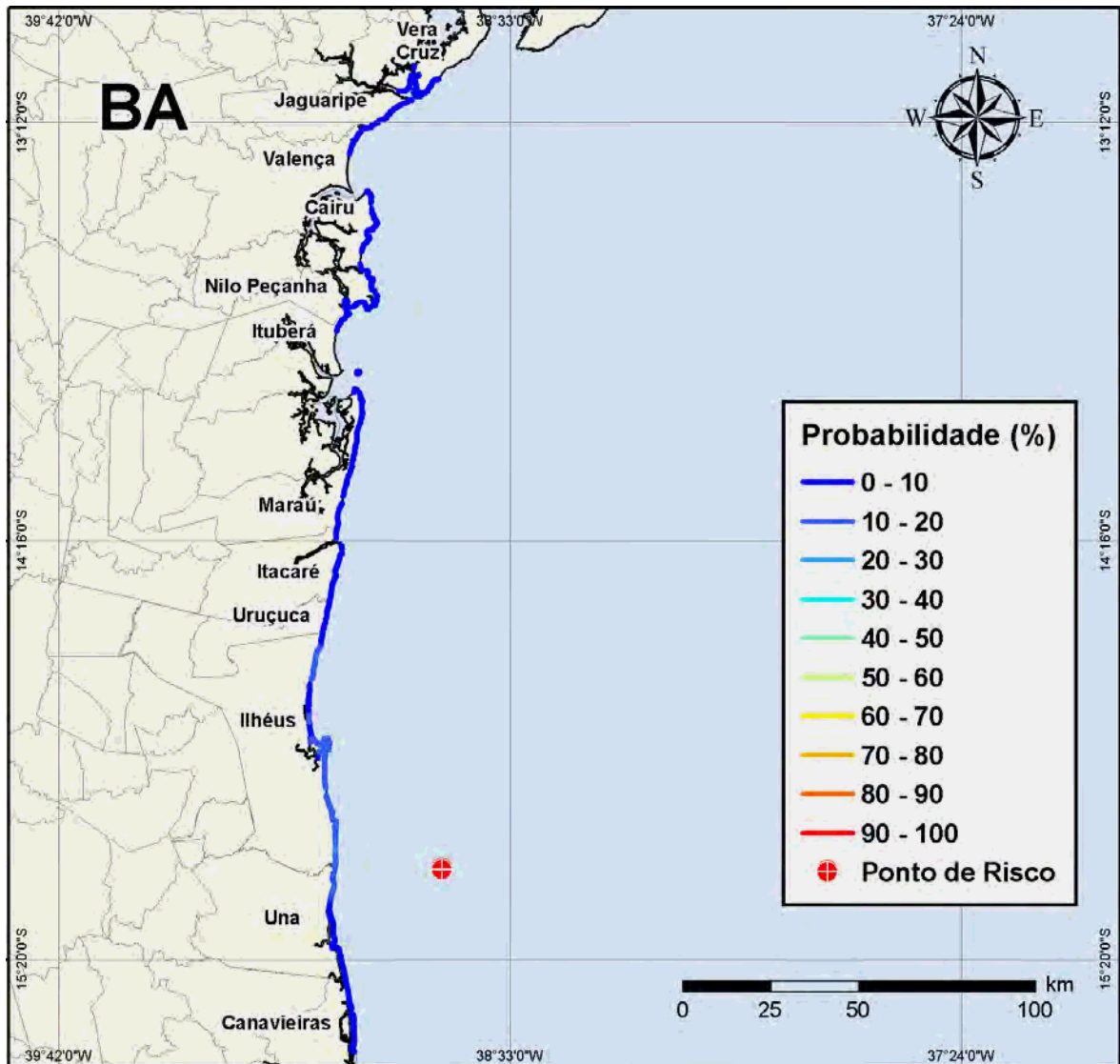


Figura V.1.2-11 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_200_30D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m³ (instantâneo) de óleo Diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

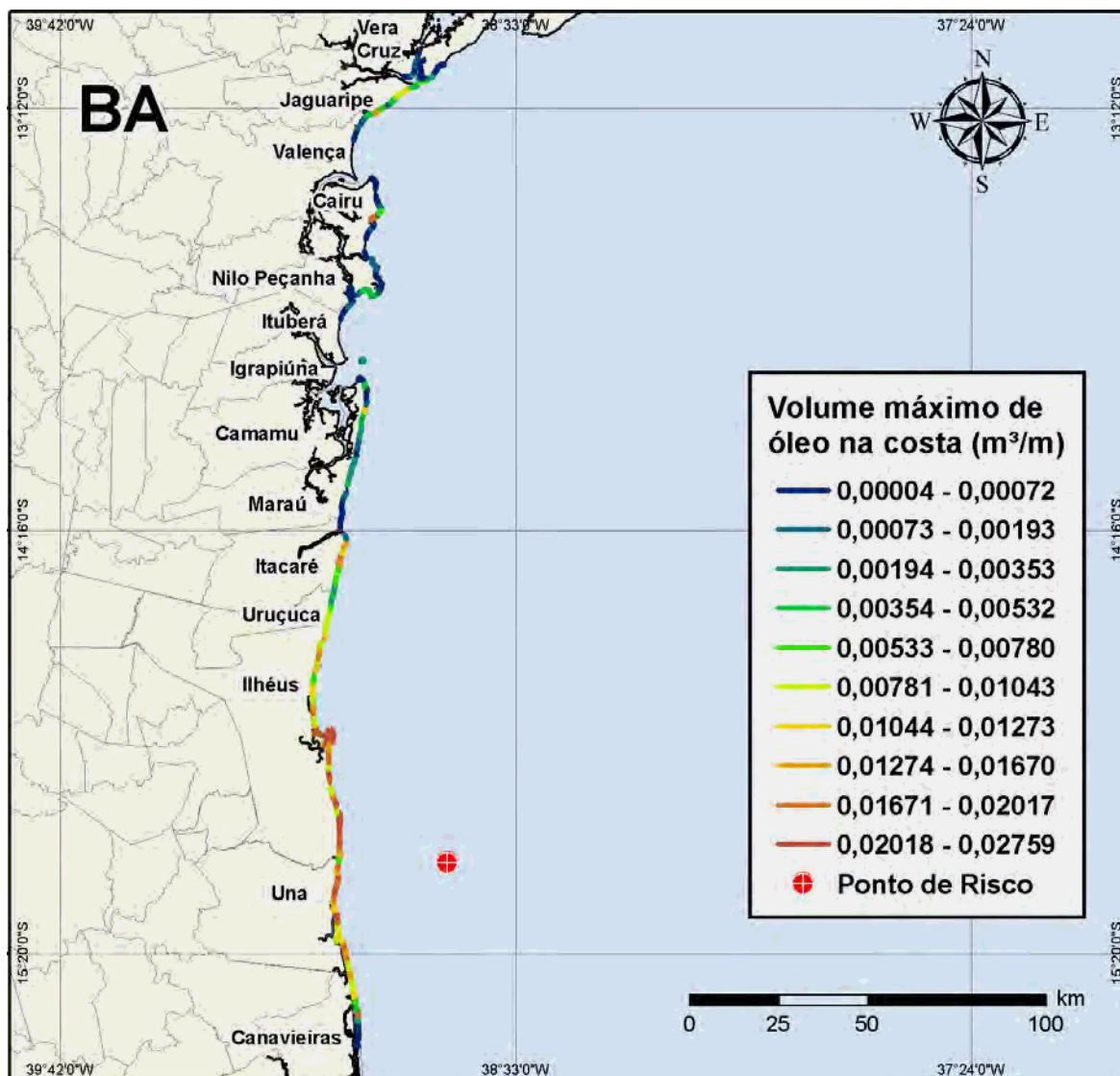


Figura V.1.2-12 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_200_30D. Volume máximo de óleo na costa (m³/m) para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m³ (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

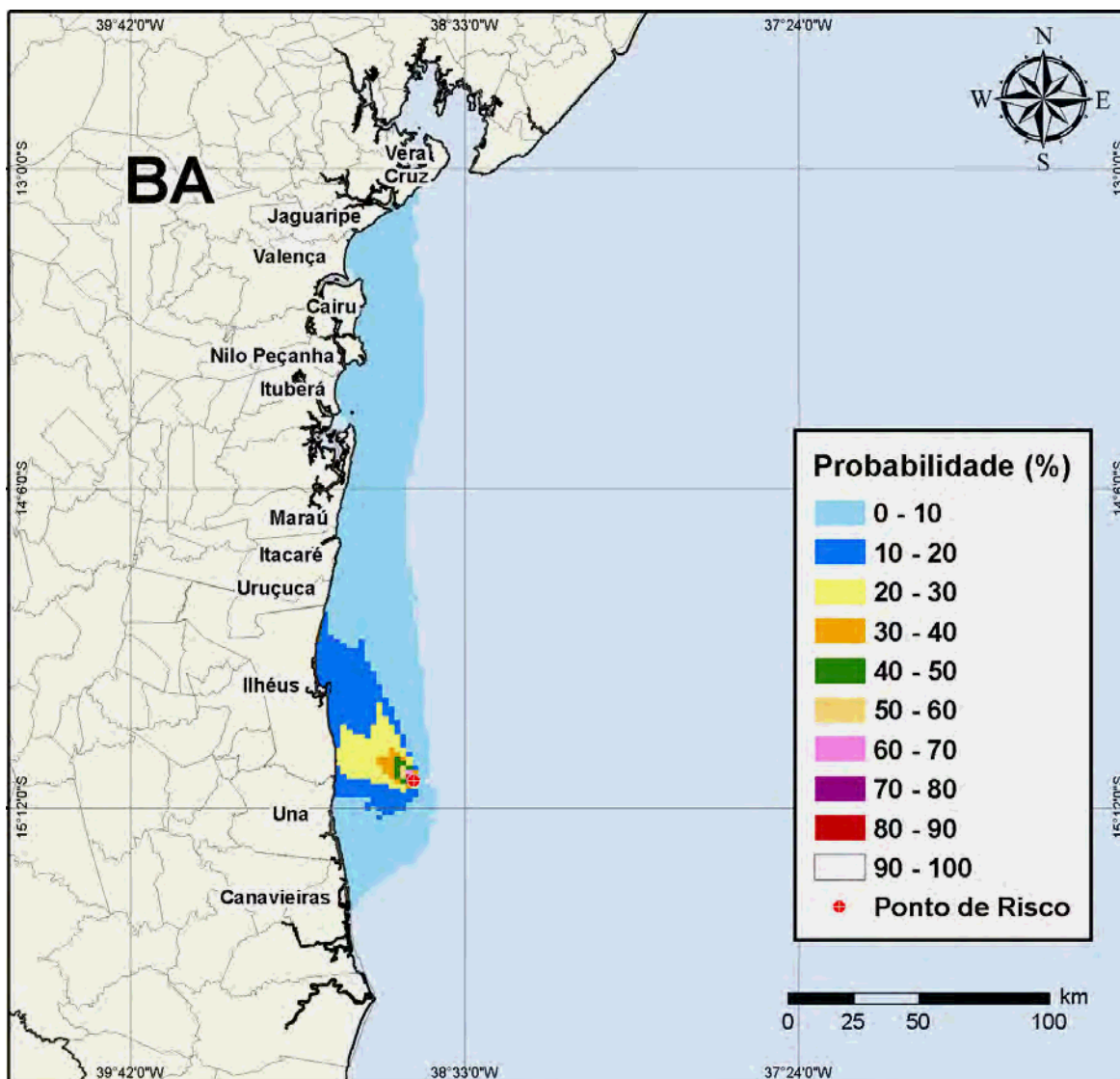


Figura V.1.2-13 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_200_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.

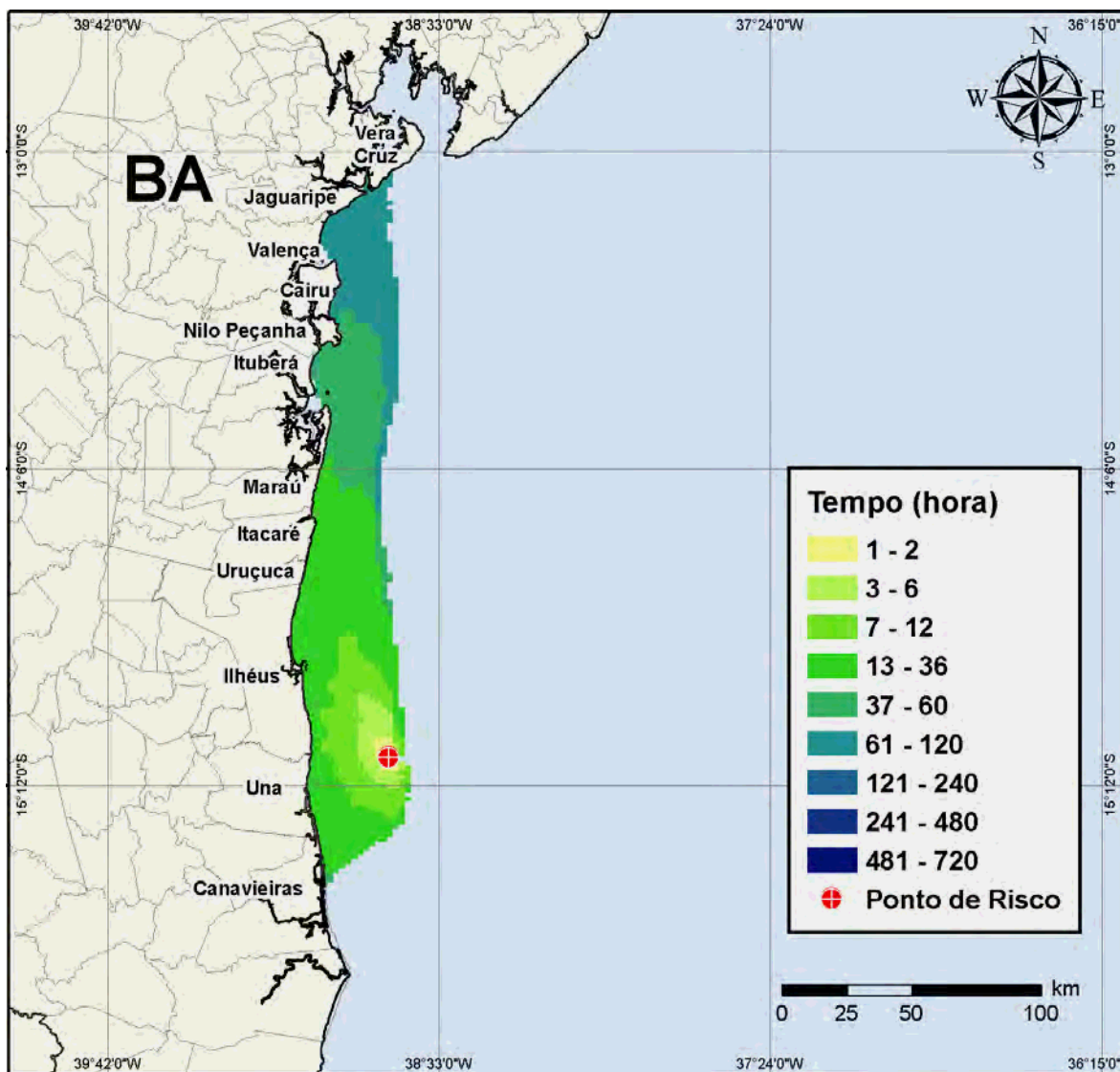


Figura V.1.2-14 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_200_30D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.

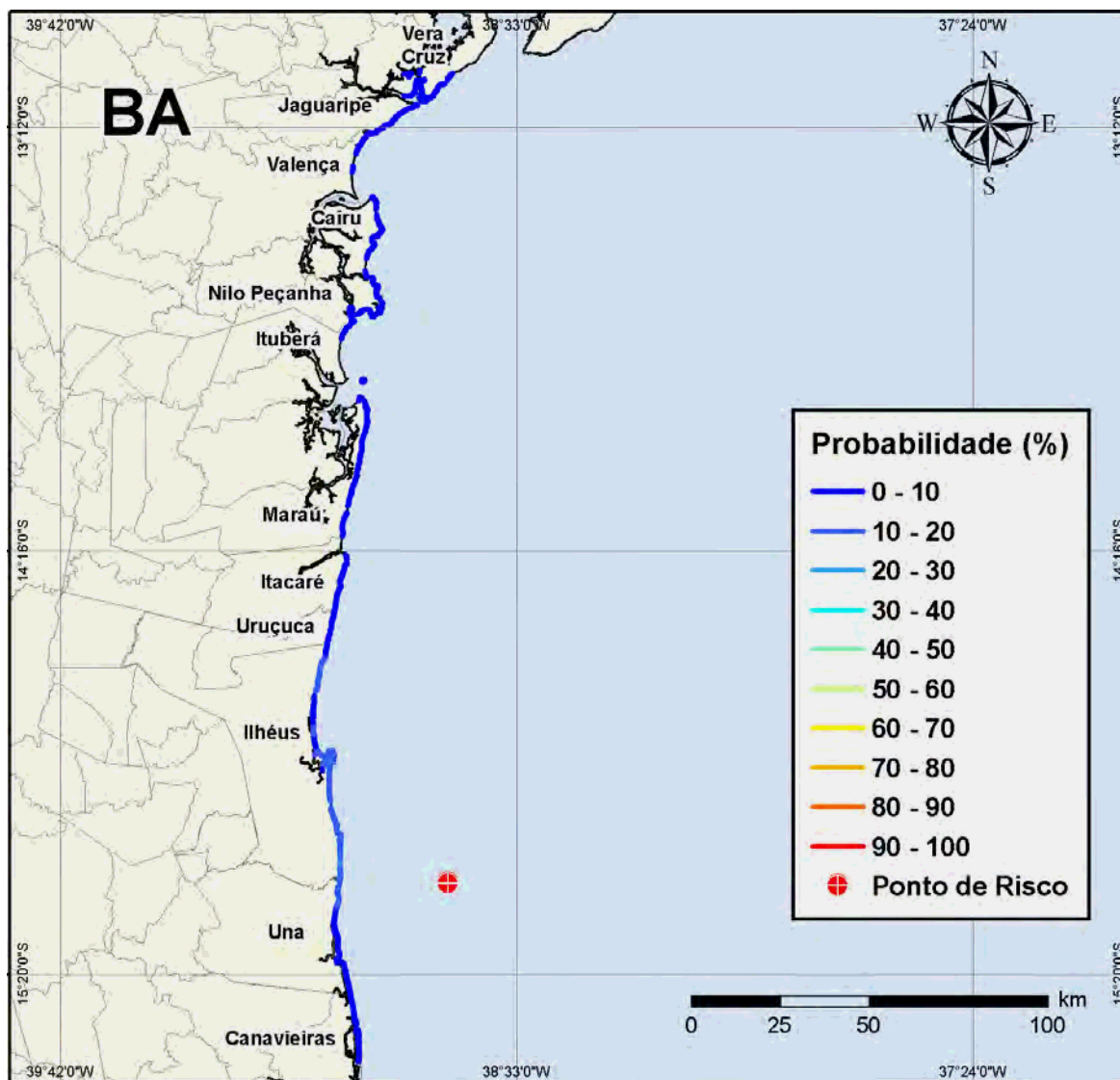


Figura V.1.2-15 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_200_30D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.

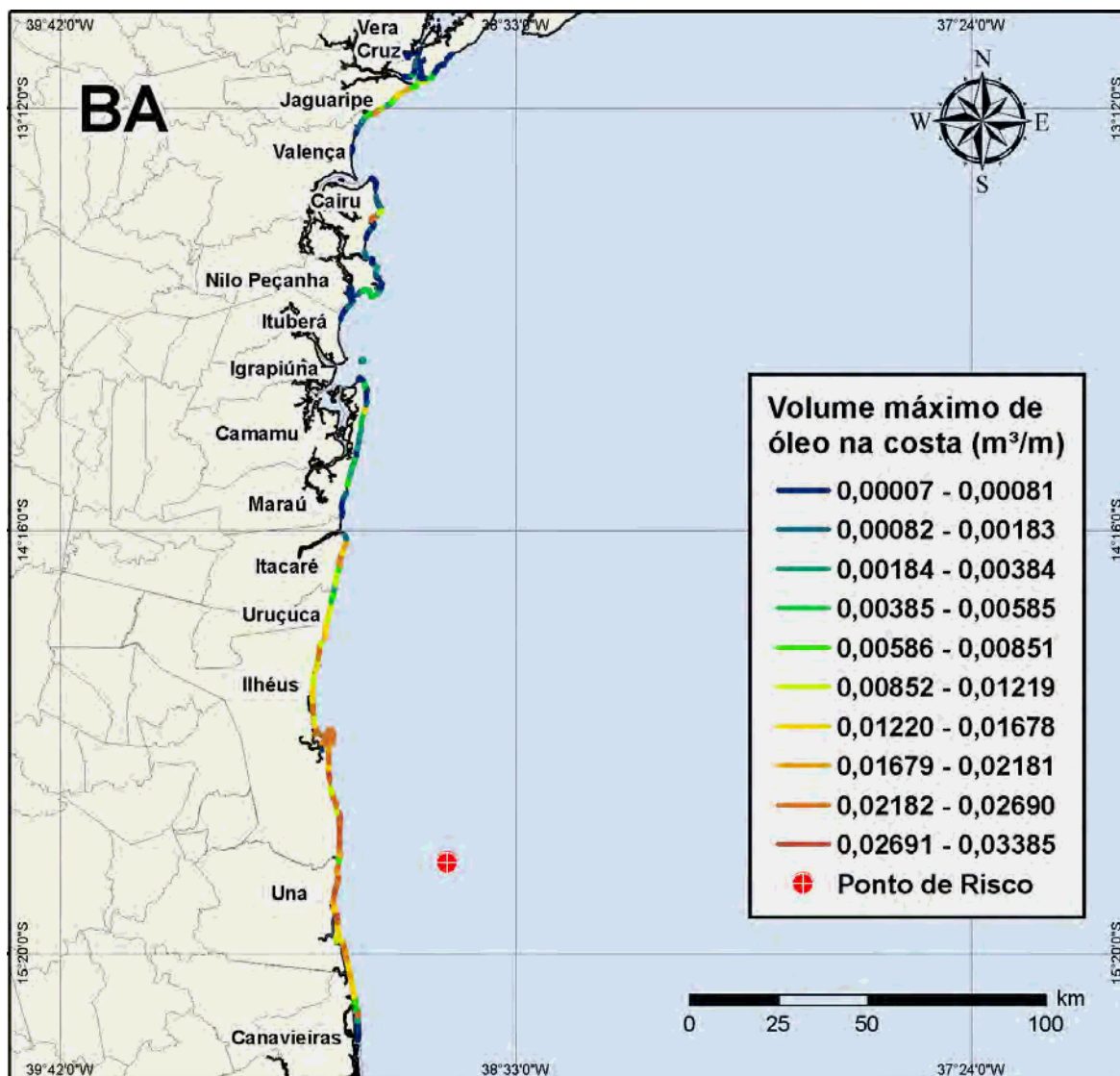


Figura V.1.2-16 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_200_30D. Volume máximo de óleo na costa (m³/m) para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m³ (instantâneo) de óleo tipo BAS-11, após 30 dias de simulação.

A tabela V.1.2-1 apresenta o percentual de simulações que impactaram a linha de costa, o menor período de tempo e o tempo médio para o óleo atingir a costa, para os acidentes simulados com volume médio, ocorrendo durante os meses de verão e inverno.

Tabela V.1.2-1 - Resumo dos resultados da modelagem probabilística com volume médio.

CENÁRIOS	TEMPO MÍNIMO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	PERCENTAGEM DE SIMULAÇÕES COM TOQUE NA COSTA (%)
BMJ_4_VERT_SW_VER_MDIESEL_200_30D	14	36,54	100
BMJ_4_VERT_SW_VER_BAS11L_200_30D	14	40,36	100
BMJ_4_VERT_SW_INV_MDIESEL_200_30D	14	29,82	100
BMJ_4_VERT_SW_INV_BAS11_200_30D	14	29,79	100

A tabela V.1.2-2 e V.1.2-3 apresentam a probabilidade de toque e o tempo mínimo de toque na linha de costa para os municípios com probabilidade de toque, durante os meses de verão e de inverno, para os cenários com derrame de volume médio com óleo diesel marítimo e tipo BAS-11, respectivamente. Observa-se que, independente do tipo de óleo simulado, o primeiro toque ocorreu no Município de Una (BA) no verão e em Ilhéus (BA) no inverno. As maiores probabilidades de toque na costa, no verão, para ambos os tipos de óleo, ocorreram nos Municípios de Una e Canavieiras, Estado da Bahia, enquanto no inverno as maiores probabilidades foram calculadas para Ilhéus e Una. As probabilidades de toque de óleo na costa com derrames de volume médio são, em geral, maiores que as probabilidades calculadas para os derrames com volume pequeno, alcançando até 31% no verão e 22% no inverno. Porém, ainda assim, as probabilidades de toque podem ser consideradas baixas.

Com relação ao volume máximo de óleo na costa, assim como nos derrames com volume pequeno, as simulações com o óleo tipo BAS-11 apresentaram maiores valores quando comparados com os derrames de óleo diesel marítimo.

Tabela V.1.2-2- Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo diesel marítimo nos períodos de verão e inverno, com derrame de volume médio.

NOME DO MUNICÍPIO	PROBABILIDADE (%)		TEMPO MÍNIMO DE TOQUE (HORAS)		VOLUME MÁXIMO NA COSTA (m³/m)		
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	
BA	Vera Cruz	N.A.	5	N.A.	89	N.A.	0,0116
	Jaguaripe	N.A.	4	N.A.	80	N.A.	0,01484
	Valença	N.A.	2	N.A.	81	N.A.	0,00427
	Cairu	N.A.	2	N.A.	55	N.A.	0,01696
	Ituberá	N.A.	1	N.A.	62	N.A.	0,00009
	Nilo Peçanha	N.A.	2	N.A.	59	N.A.	0,00091
	Maraú	N.A.	5	N.A.	32	N.A.	0,0116
	Ilha de Queipe	N.A.	2	N.A.	49	N.A.	0,0032
	Itacaré	N.A.	10	N.A.	24	N.A.	0,01714
	Uruçá	N.A.	9	N.A.	25	N.A.	0,00976
	Ilhéus	9	22	15	14	0,02553	0,02759
	Una	30	18	14	16	0,02963	0,0252
	Canavieiras	23	5	21	25	0,02203	0,01776
	Belmonte	4	N.A.	40	N.A.	0,01918	N.A.
	Santa Cruz Cabralia	1	N.A.	57	N.A.	0,00318	N.A.
	Porto Seguro	3	N.A.	70	N.A.	0,00402	N.A.
	Prado	6	N.A.	136	N.A.	0,00474	N.A.
	Alcobaça	5	N.A.	210	N.A.	0,00259	N.A.
	Caravelas	3	N.A.	232	N.A.	0,00175	N.A.
	Arquipélago dos Abrolhos	1	N.A.	152	N.A.	0,00003	N.A.
Nova Viçosa	1	N.A.	255	N.A.	0,00125	N.A.	
Mucuri	1	N.A.	295	N.A.	0,00075	N.A.	
ES	São Mateus	1	N.A.	413	N.A.	0,00002	N.A.
	Conceição da Barra	1	N.A.	384	N.A.	0,00011	N.A.

N.A. = não aplicável (não há probabilidade de toque nestes municípios).

Tabela V.1.2-3 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo tipo BAS-11 nos períodos de verão e inverno, com derrame de volume médio.

NOME DO MUNICÍPIO	PROBABILIDADE (%)		TEMPO MÍNIMO DE TOQUE (HORAS)		VOLUME MÁXIMO NA COSTA (m³/m)		
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	
BA	Vera Cruz	N.A.	5	N.A.	90	N.A.	0,0108
	Jaguaripe	N.A.	4	N.A.	80	N.A.	0,02374
	Valença	N.A.	2	N.A.	81	N.A.	0,00683
	Cairu	N.A.	2	N.A.	56	N.A.	0,02628
	Ituberá	N.A.	1	N.A.	62	N.A.	0,00021
	Nilo Peçanha	N.A.	2	N.A.	59	N.A.	0,00169
	Maraú	N.A.	5	N.A.	31	N.A.	0,01664
	Ilha de Queipe	N.A.	2	N.A.	47	N.A.	0,00384
	Itacaré	N.A.	9	N.A.	24	N.A.	0,02343
	Uruçá	N.A.	10	N.A.	25	N.A.	0,01521
	Ilhéus	10	21	15	14	0,0331	0,03298
	Una	31	19	14	16	0,0363	0,03385
	Canavieiras	21	6	21	25	0,0283	0,02345
	Belmonte	5	N.A.	43	N.A.	0,02429	N.A.
	Santa Cruz Cabrália	2	N.A.	55	N.A.	0,00421	N.A.
	Porto Seguro	5	N.A.	75	N.A.	0,00687	N.A.
	Prado	8	N.A.	127	N.A.	0,00711	N.A.
	Alcobaça	7	N.A.	209	N.A.	0,00551	N.A.
	Caravelas	3	N.A.	232	N.A.	0,00326	N.A.
	Arquipélago dos Abrolhos	1	N.A.	150	N.A.	0,00004	N.A.
Nova Viçosa	1	N.A.	257	N.A.	0,00183	N.A.	
Mucuri	1	N.A.	295	N.A.	0,00161	N.A.	
ES	São Mateus	1	N.A.	414	N.A.	0,00006	N.A.
	Conceição da Barra	1	N.A.	379	N.A.	0,00031	N.A.

N.A. = não aplicável (não há probabilidade de toque nestes municípios).

Na tabela V.1.2-4 são apresentados os valores mínimos e máximos de óleo na superfície, evaporado, na coluna d'água e na costa (balanço de massa) ao final das 450 simulações determinísticas que compõem cada cenário probabilístico com derrame de 200 m³. Observa-se que as taxas de evaporação variaram de 61 a 77% nos cenários com óleo diesel marítimo, e de 29 a 37% nos cenários com derrames de óleo BAS-11.

Tabela V.1.2-4 - Resumo do balanço de massa dos cenários probabilísticos com volume médio.

CENÁRIOS	% NA SUPERFÍCIE		% EVAPORADO		% NA COLUNA D'ÁGUA		% NA COSTA	
	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.
BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_200_30D	0,00	0,00	61,44	77,46	0,00	0,00	22,59	38,55
BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_200_30D	0,00	0,05	29,40	37,29	0,00	0,00	62,70	70,53
BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_200_30D	0,00	0,05	62,42	76,94	0,00	0,00	23,05	37,57
BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_200_30D	0,00	0,00	29,94	36,99	0,00	0,00	63,00	69,99

V.1.3 Simulações Probabilísticas para os Derrames Com Volume de Pior Caso

Nas figuras V.1.3-1 a V.1.3-8 são apresentados os contornos de probabilidade da presença de óleo na água, o tempo de deslocamento do óleo na água, as probabilidades de toque na linha de costa e os volumes máximos de óleo na costa, durante os meses de verão (janeiro a março), para as simulações com volume de derrame de pior caso.

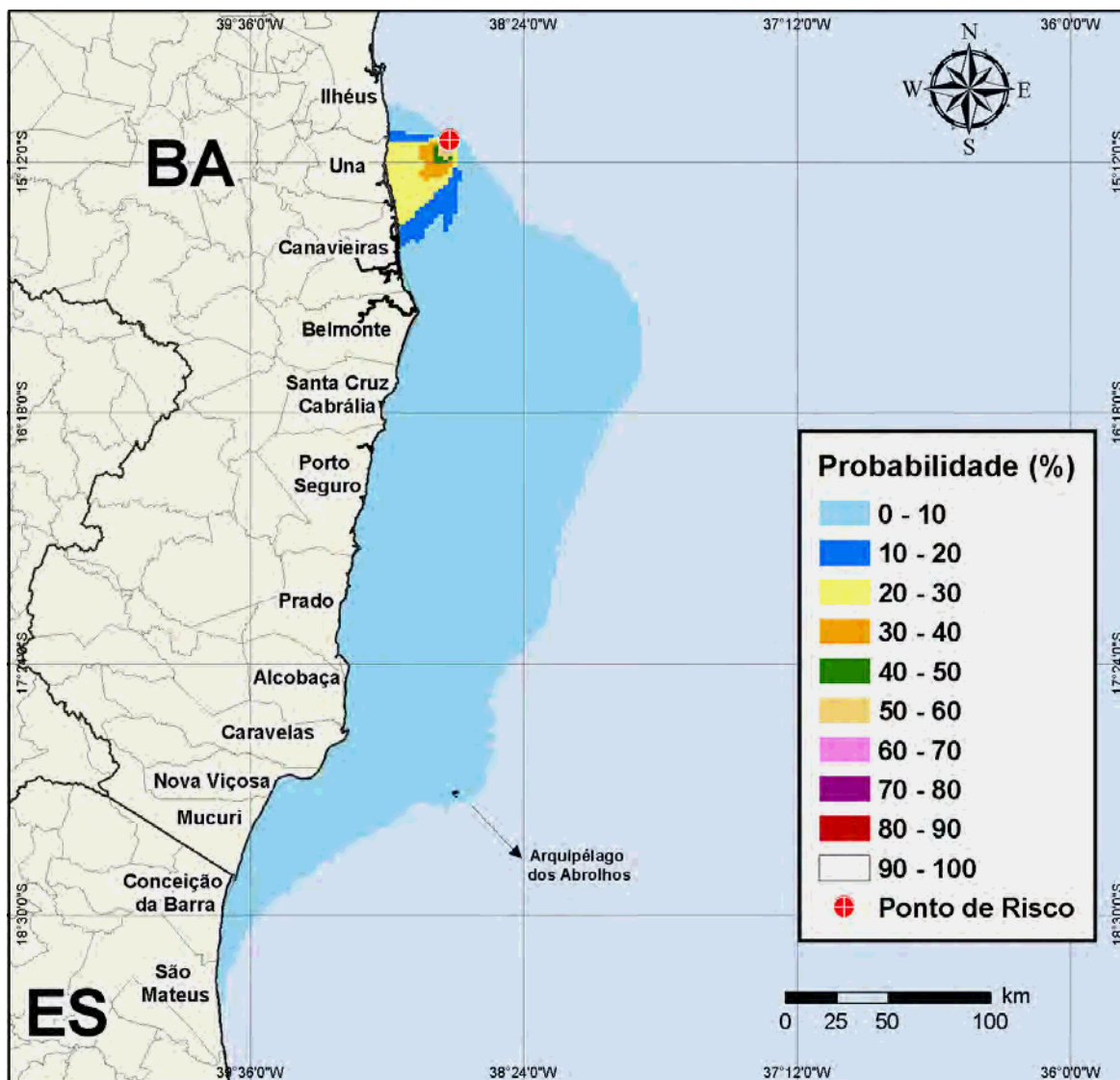


Figura V.1.3-1 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_PC_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de pior caso (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

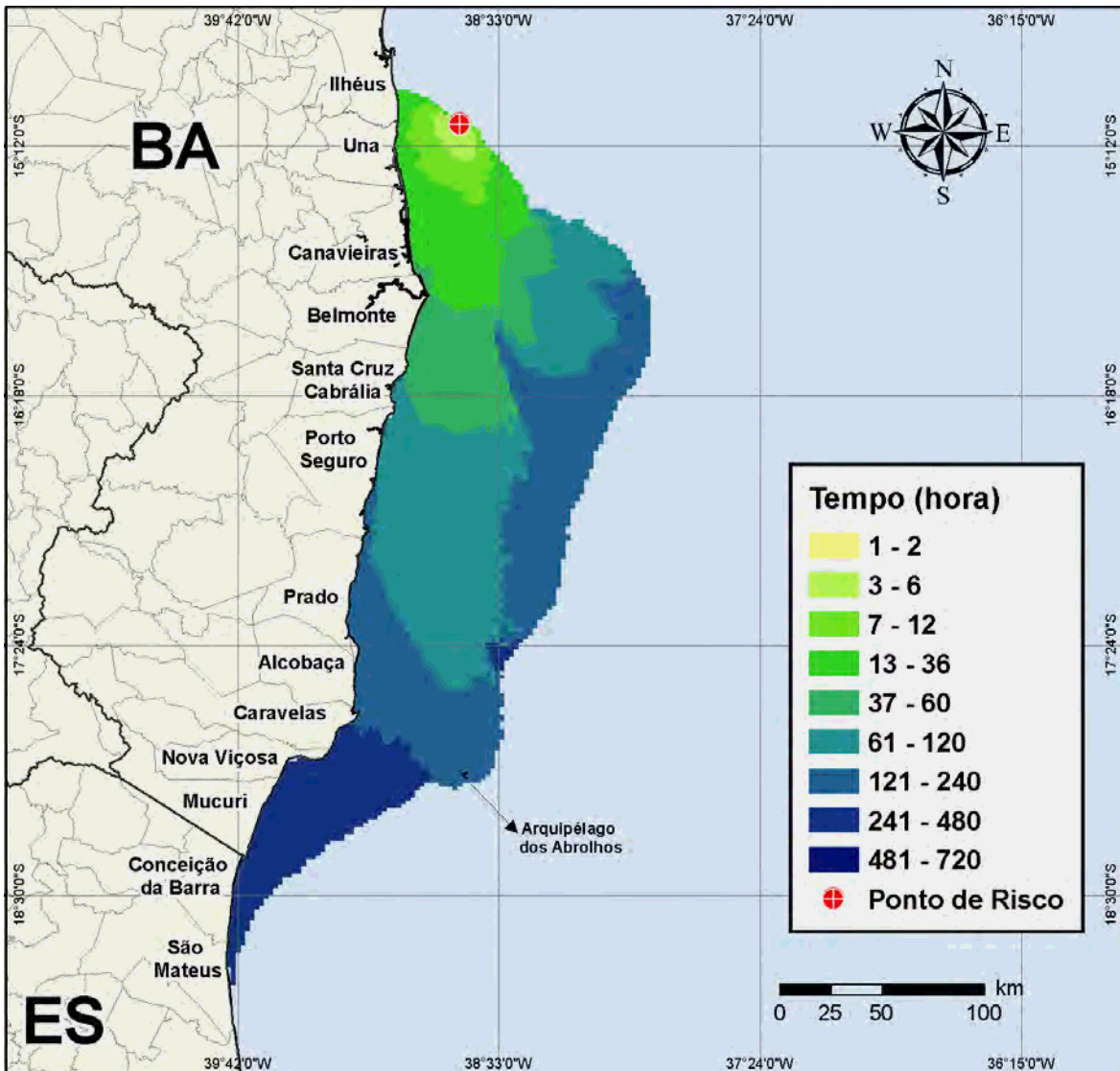


Figura V.1.3-2 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIASEL_VER_PC_30D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de pior caso (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

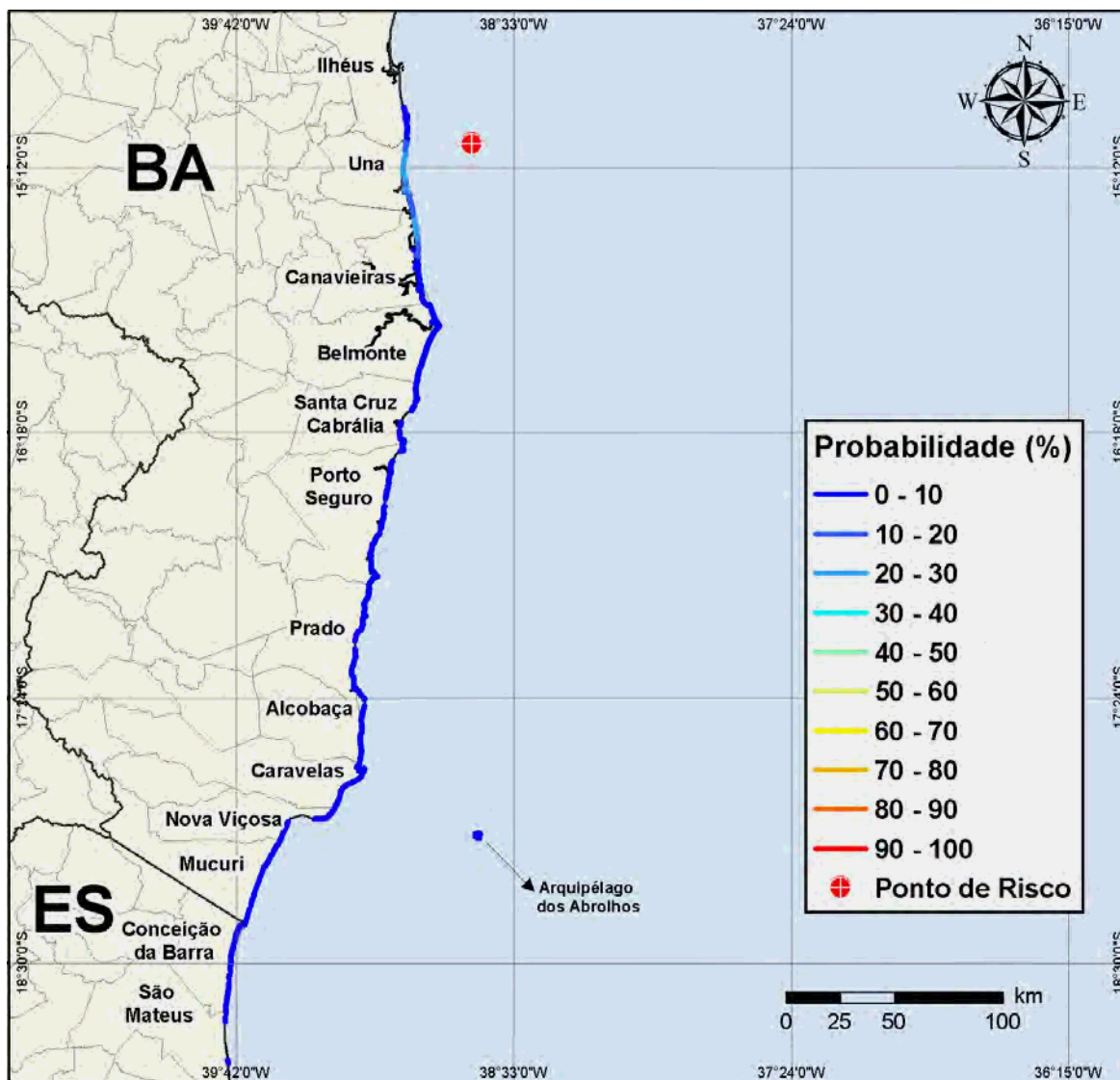


Figura V.1.3-3 - Cenário BMJ1_LEADF2_M DIESEL_VER_PC_30D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de pior caso (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

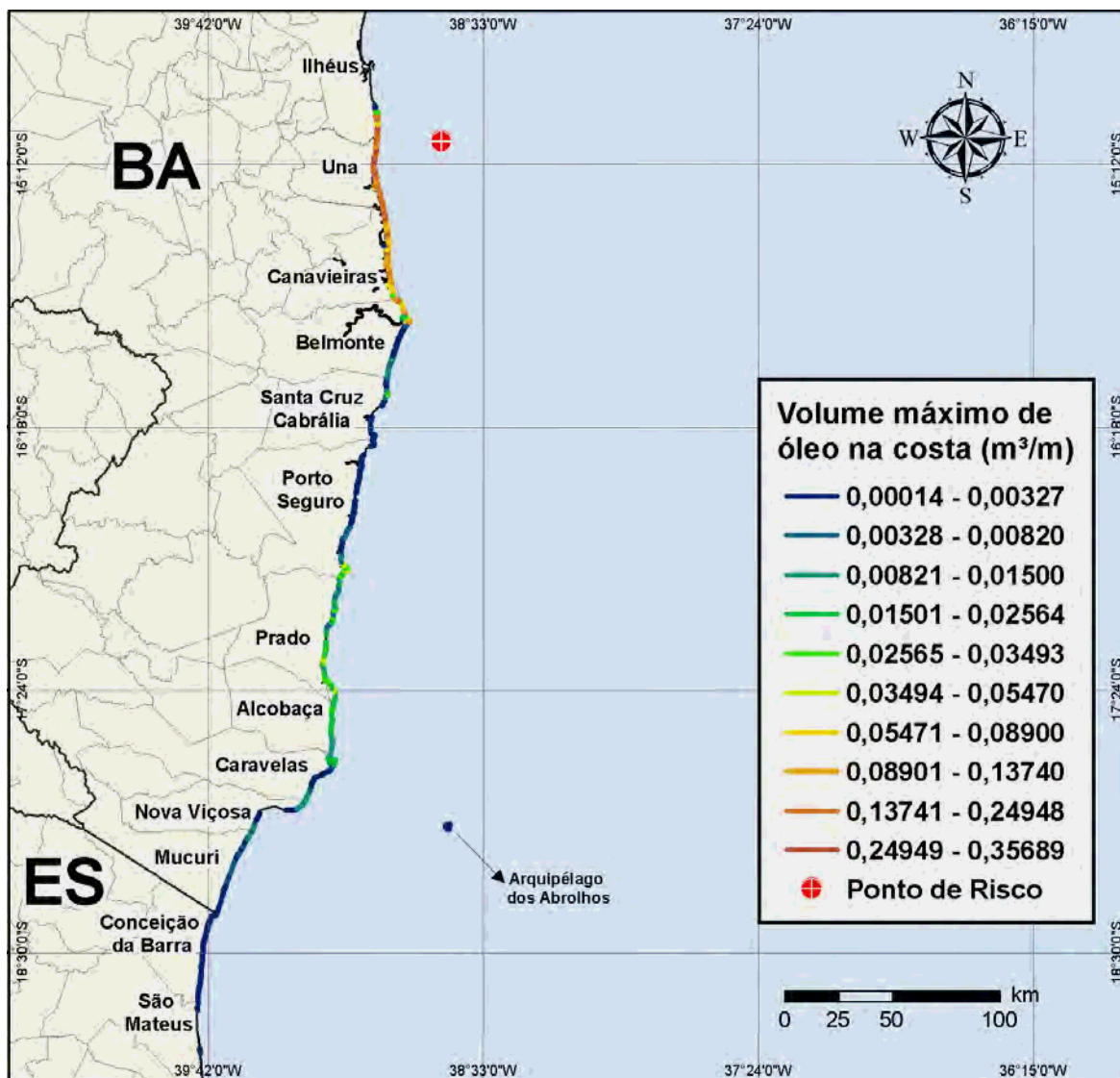


Figura V.1.3-4 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_PC_30D. Volume máximo de óleo na costa (m³/m) para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de pior caso (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

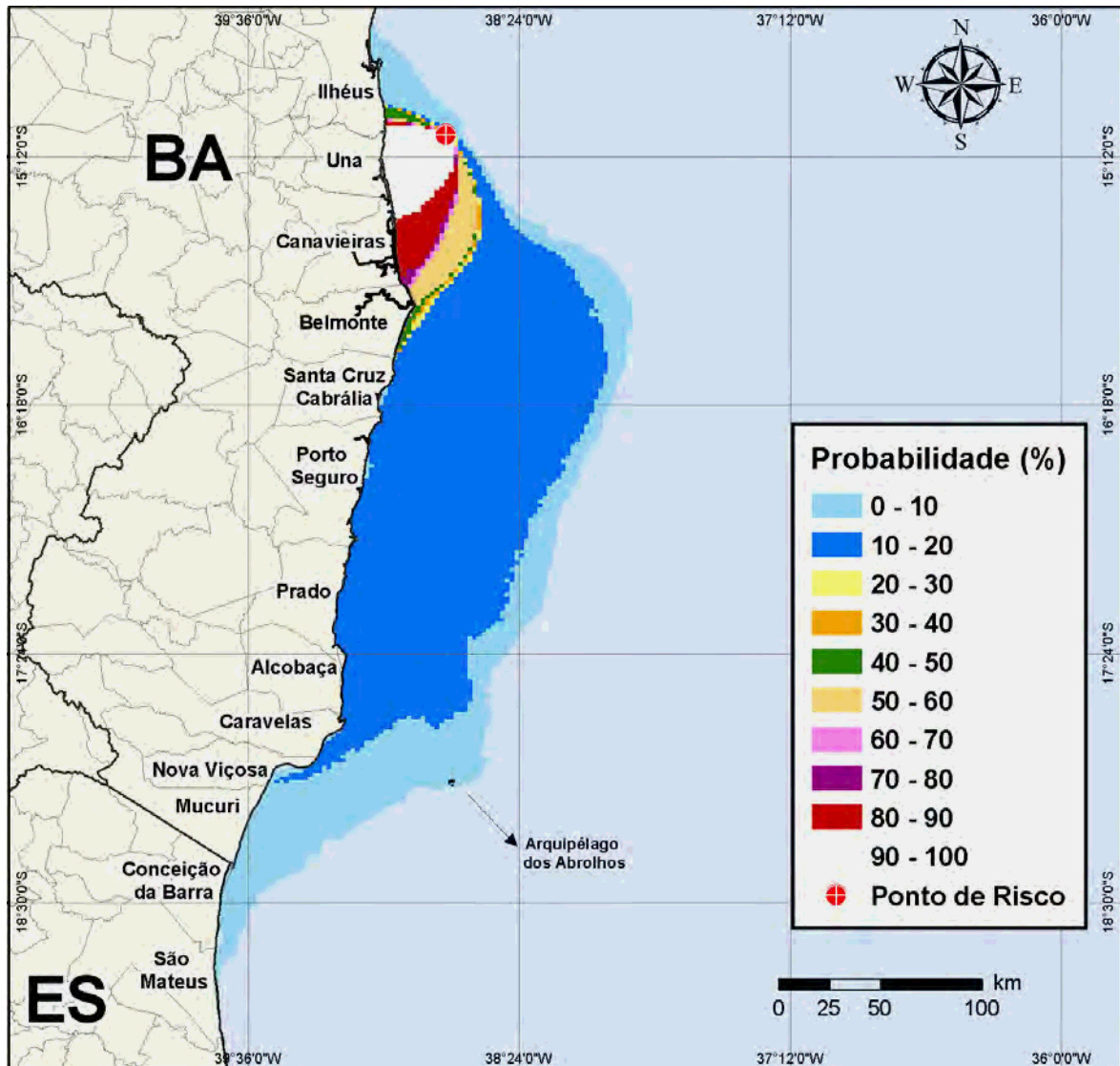


Figura V.1.3-5 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_PC_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de pior caso (durante 30 dias) de óleo tipo BAS-11, após 60 dias de simulação.

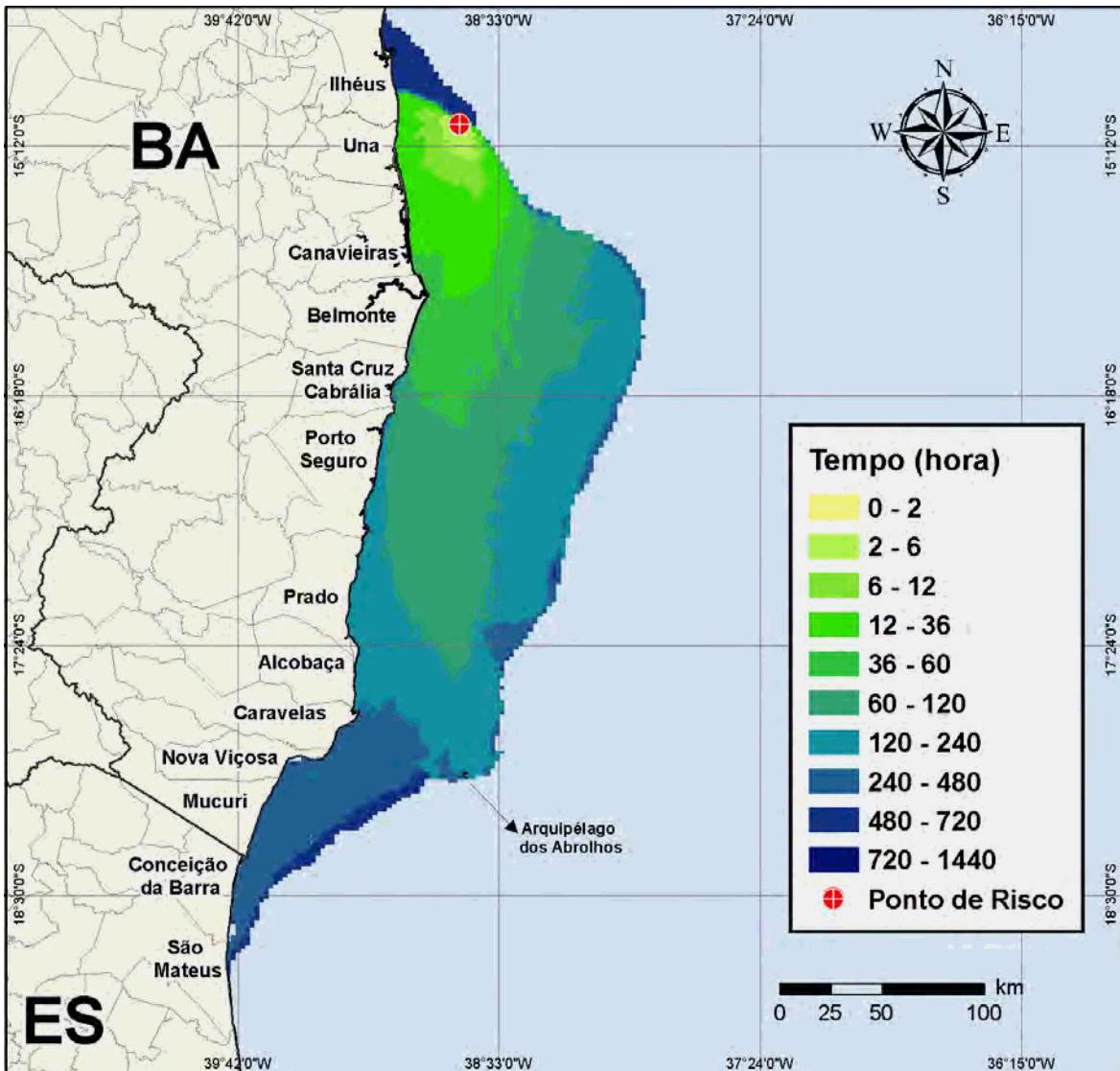


Figura V.1.3-6 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_PC_60D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de pior caso (durante 30 dias) de óleo tipo BAS-11, após 60 dias de simulação.

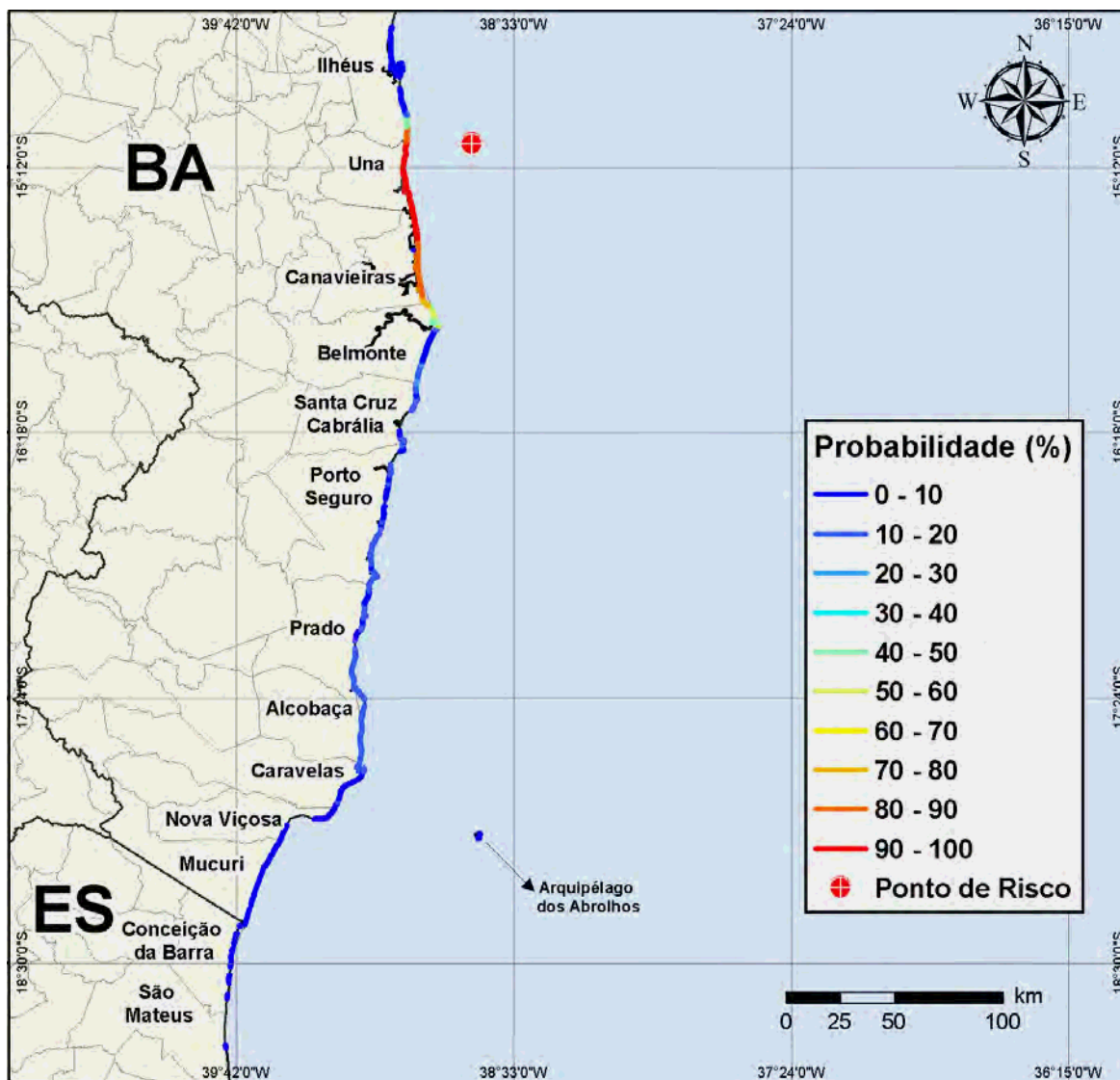


Figura V.1.3-7 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_PC_60D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de pior caso (durante 30 dias) de óleo tipo BAS-11, após 60 dias de simulação.

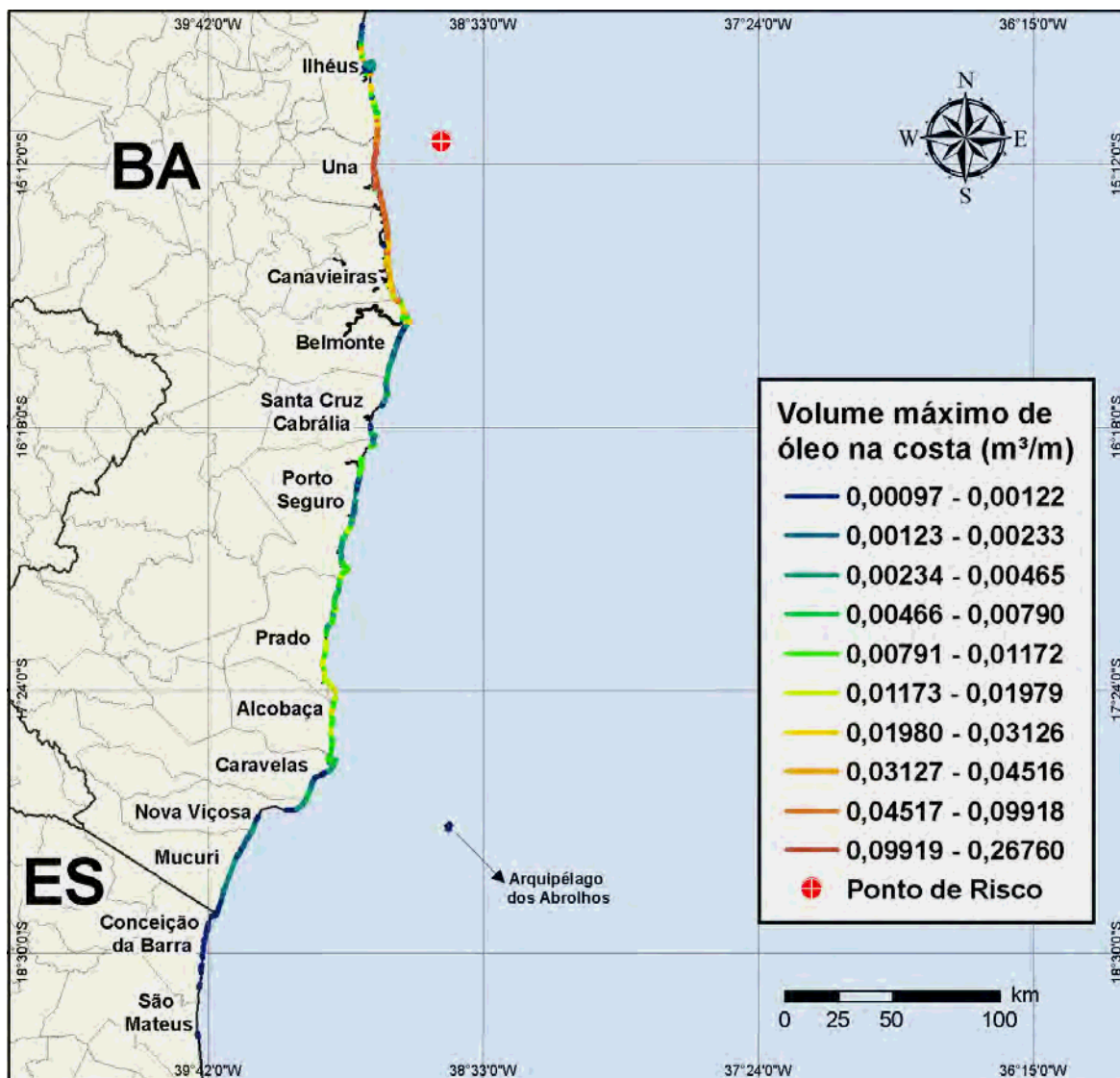


Figura V.1.3-8 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_PC_60D. Volume máximo de óleo na costa (m³/m) para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de pior caso (durante 30 dias) de óleo tipo BAS-11, após 60 dias de simulação.

Nas figuras V.1.3-9 à V.13-16 são apresentados os contornos de probabilidade da presença de óleo na água, o tempo de deslocamento do óleo na água, as probabilidades de toque na linha de costa e os volumes máximos de óleo na costa, durante os meses de inverno (junho a agosto), para as simulações com volume de derrame de pior caso.

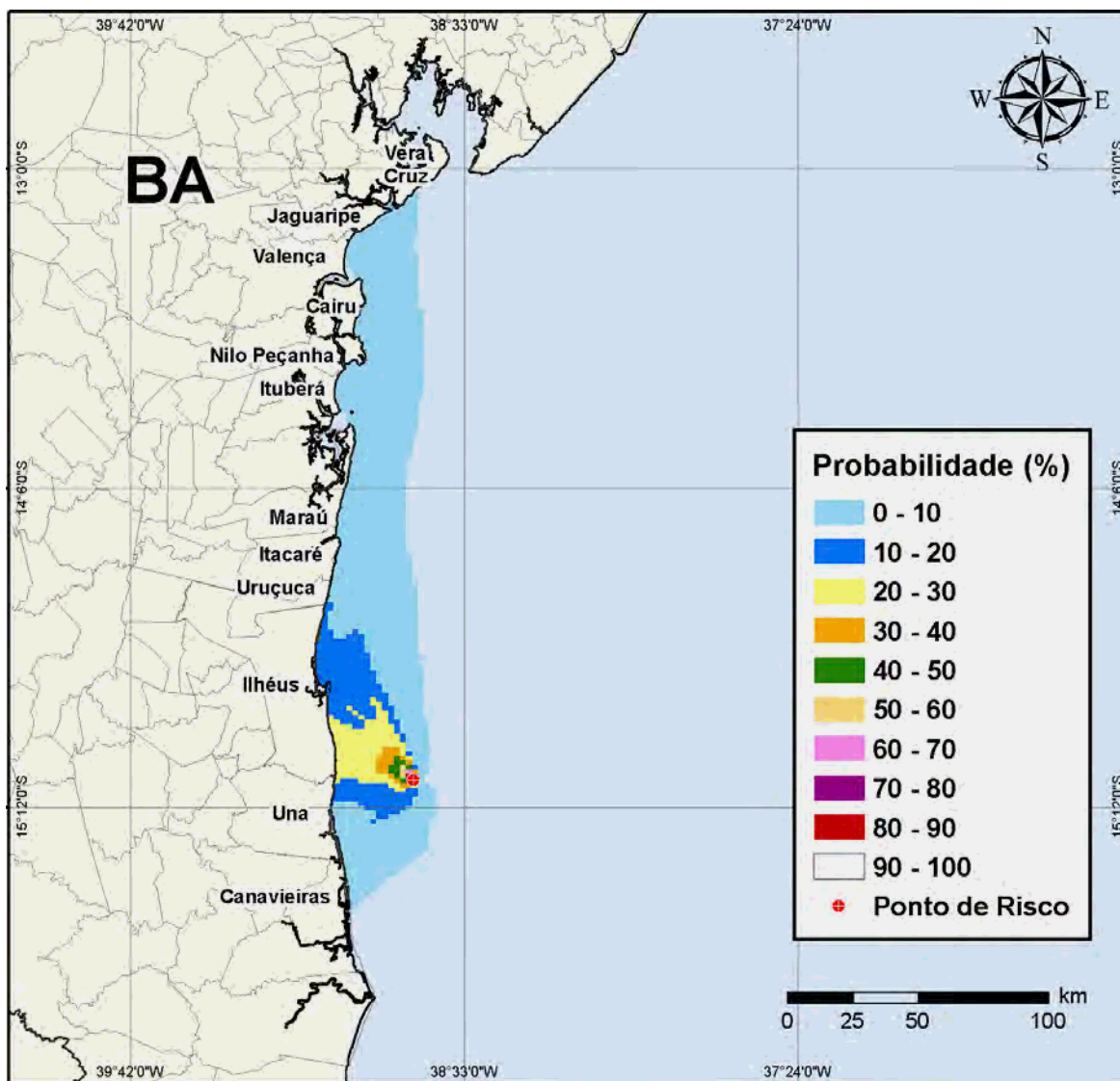


Figura V.1.3-9- Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_PC_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de pior caso (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

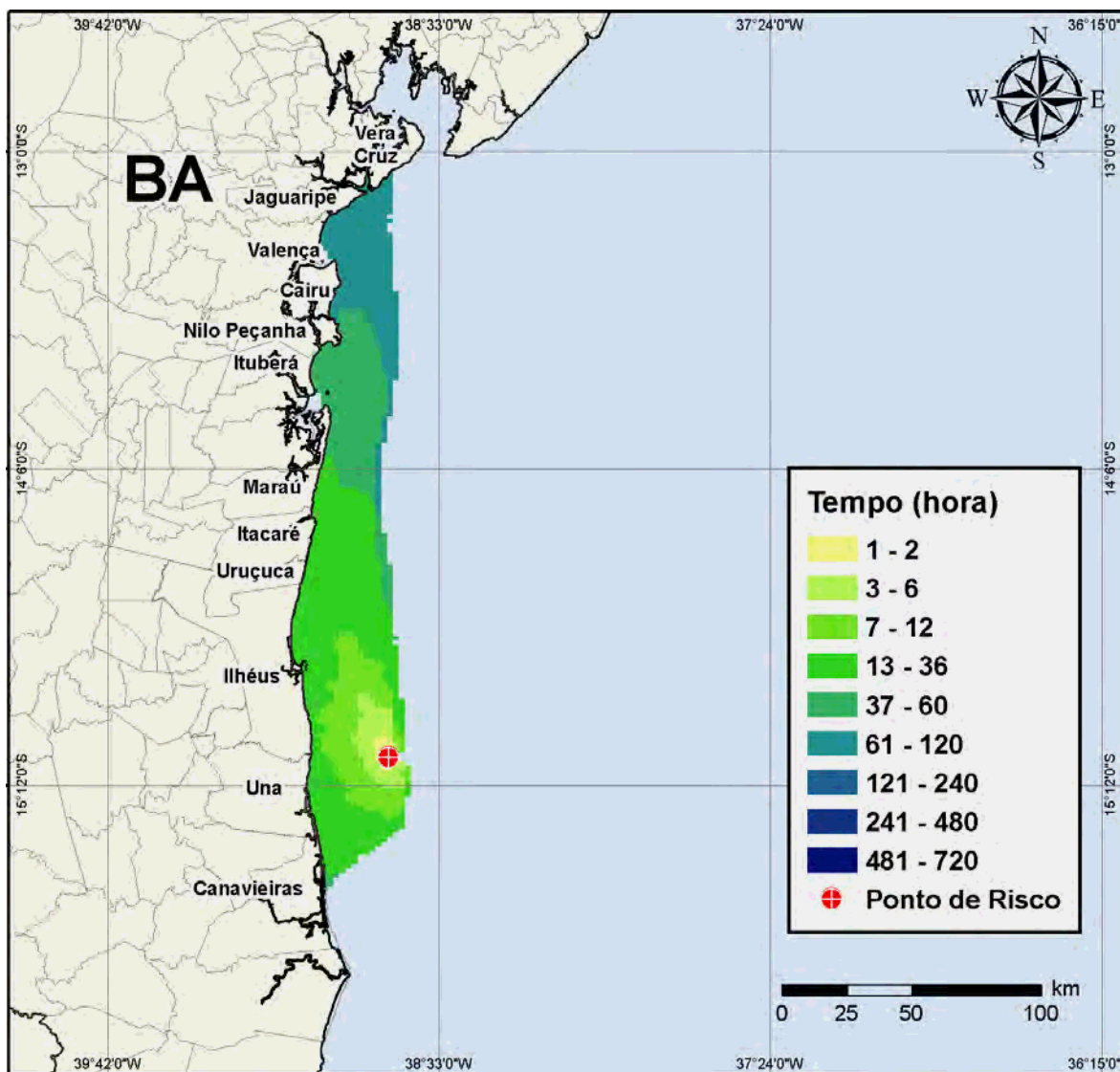


Figura V.1.3-10 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_PC_30D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de pior caso (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

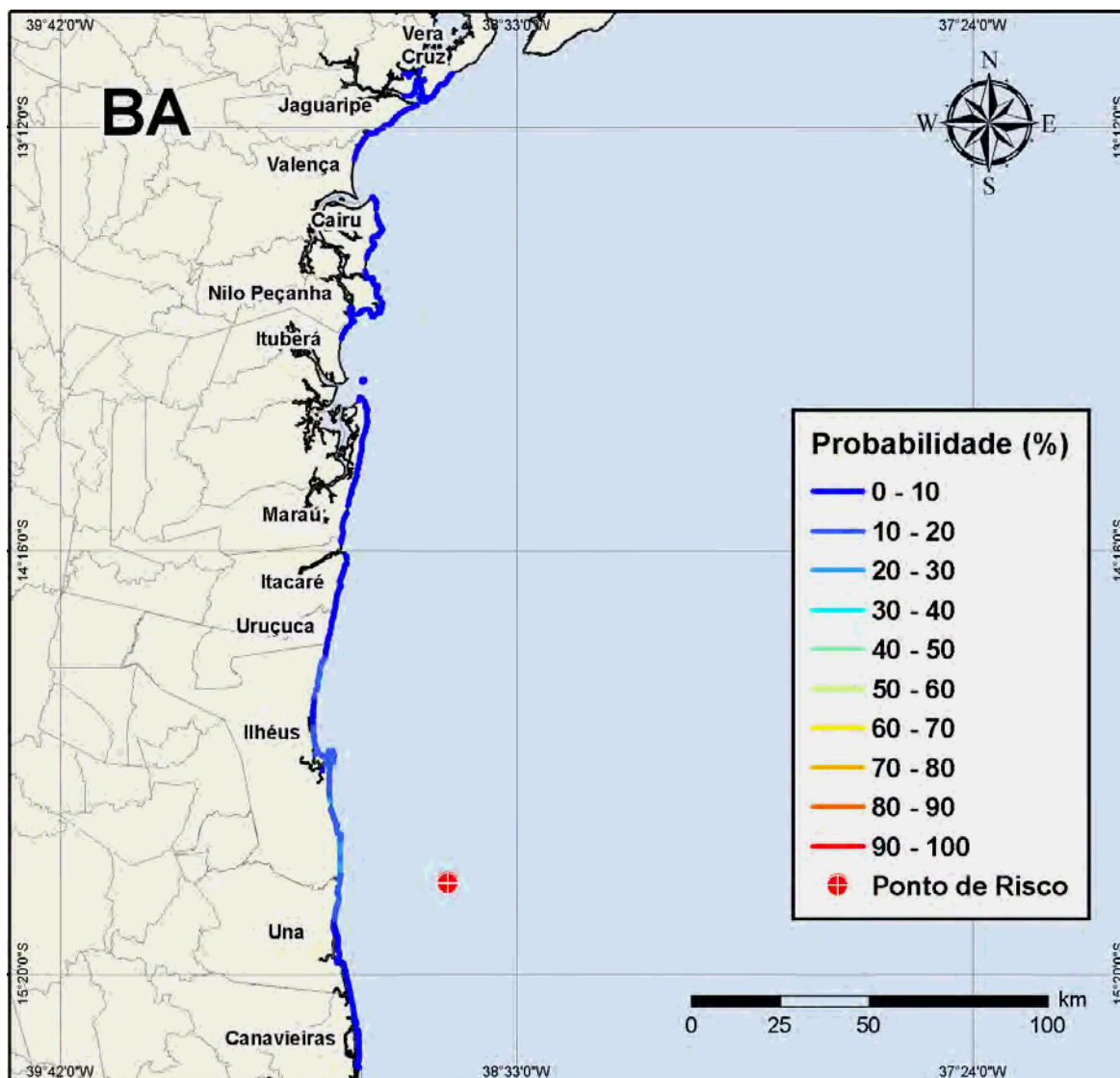


Figura V.1.3-11 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_PC_30D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de pior caso (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

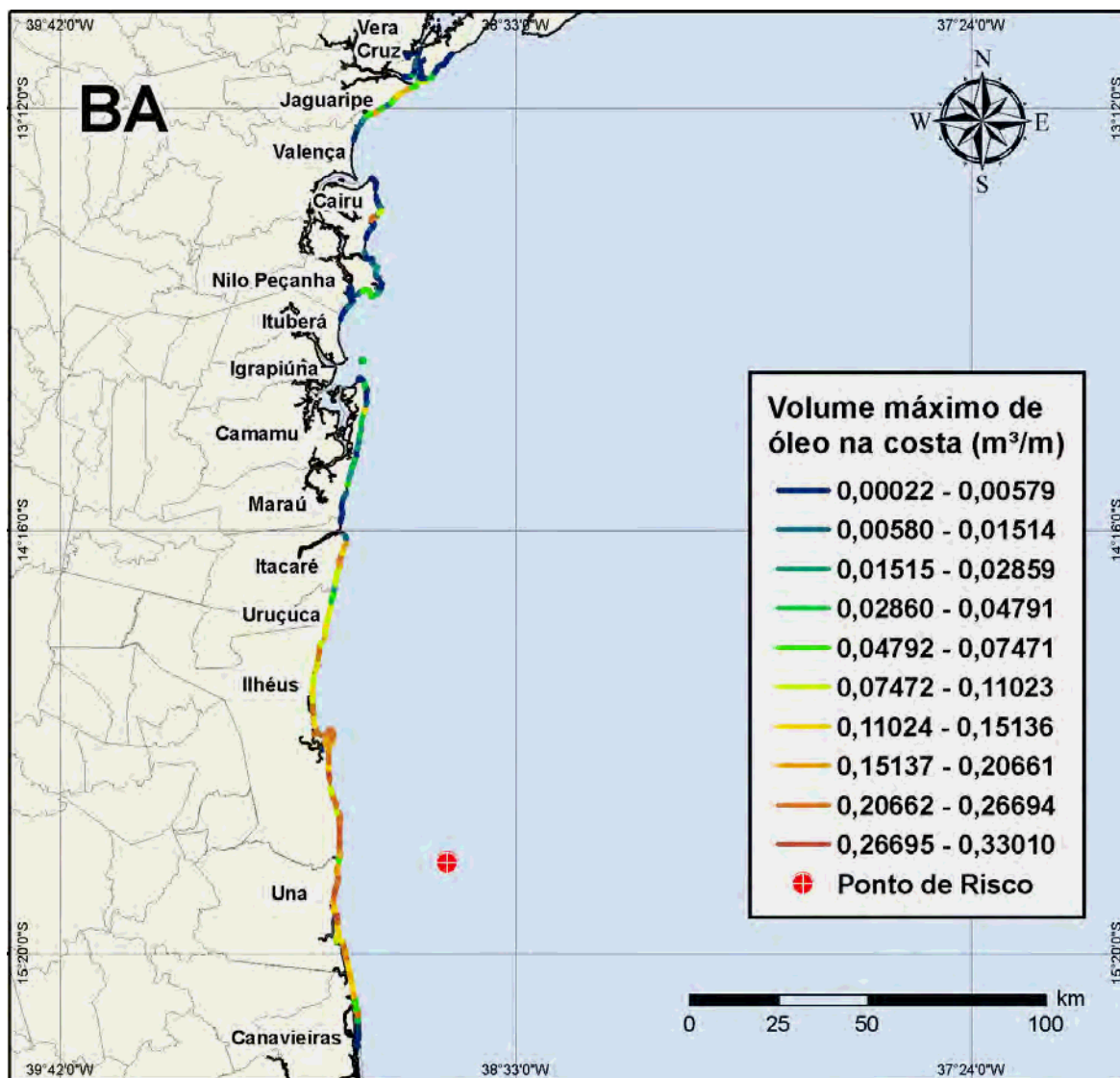


Figura V.1.3-12 - Cenário BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_PC_30D. Volume máximo de óleo na costa (m³/m) para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de pior caso (instantâneo) de óleo diesel marítimo, após 30 dias de simulação.

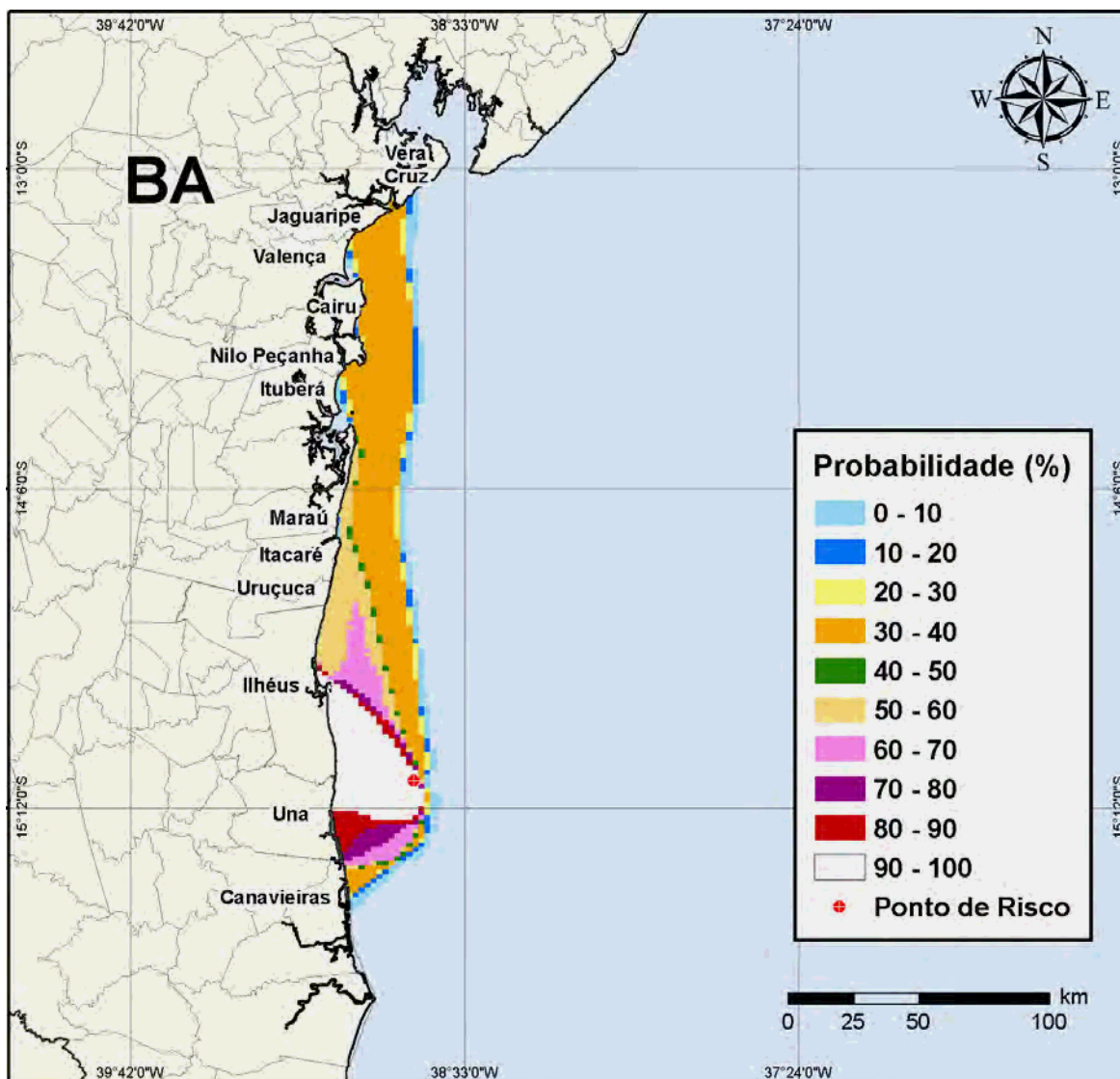


Figura V.1.3-13 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_PC_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de pior caso (durante 30 dias) de óleo tipo BAS-11, após 60 dias de simulação.

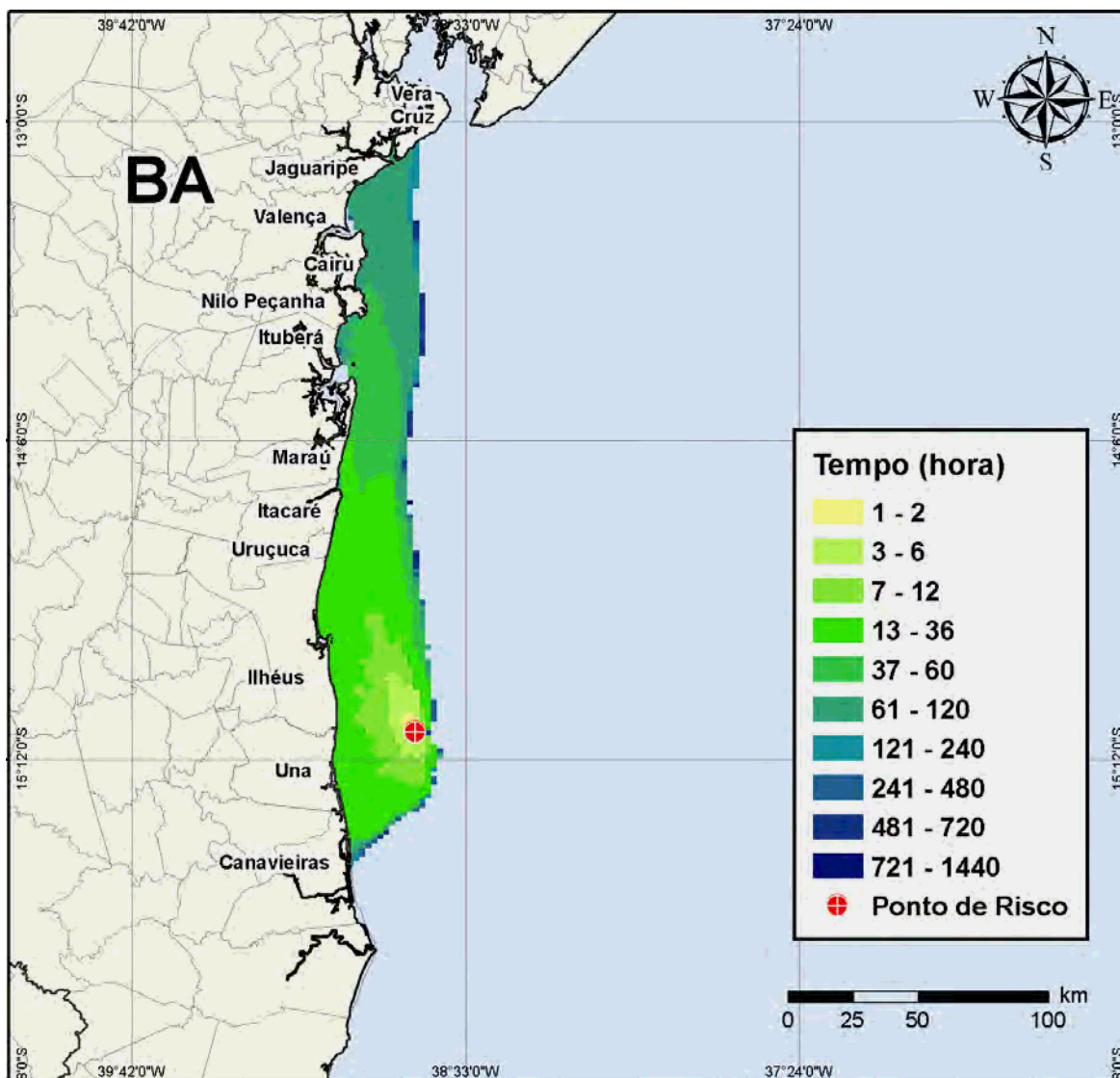


Figura V.1.3-14 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_PC_60D. Contornos de tempo do deslocamento do óleo na água para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de pior caso (durante 30 dias) de óleo tipo BAS-11, após 60 dias de simulação.

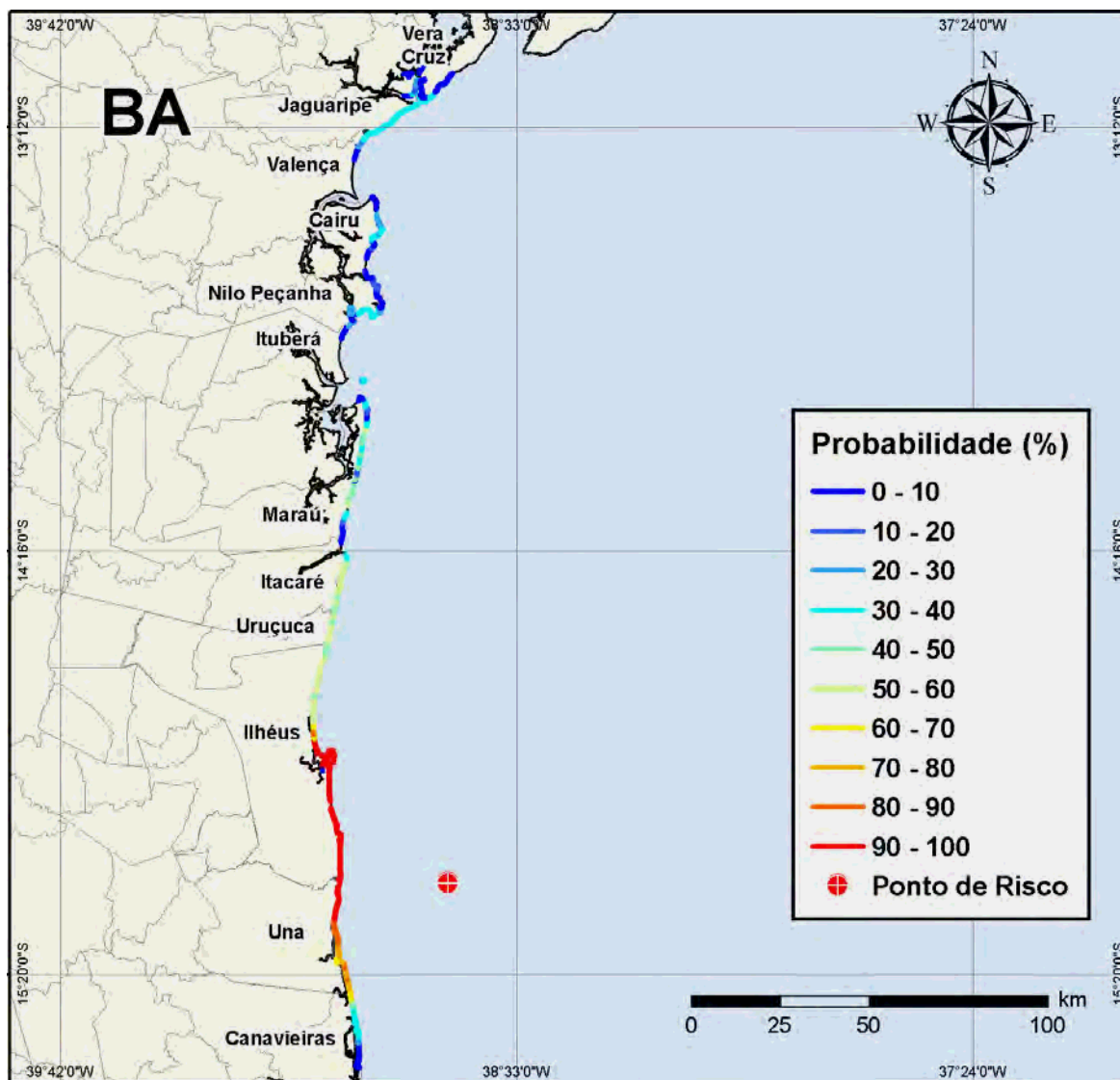


Figura V.1.3-15 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_PC_60D. Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de pior caso (durante 30 dias) de óleo tipo BAS-11, após 60 dias de simulação.

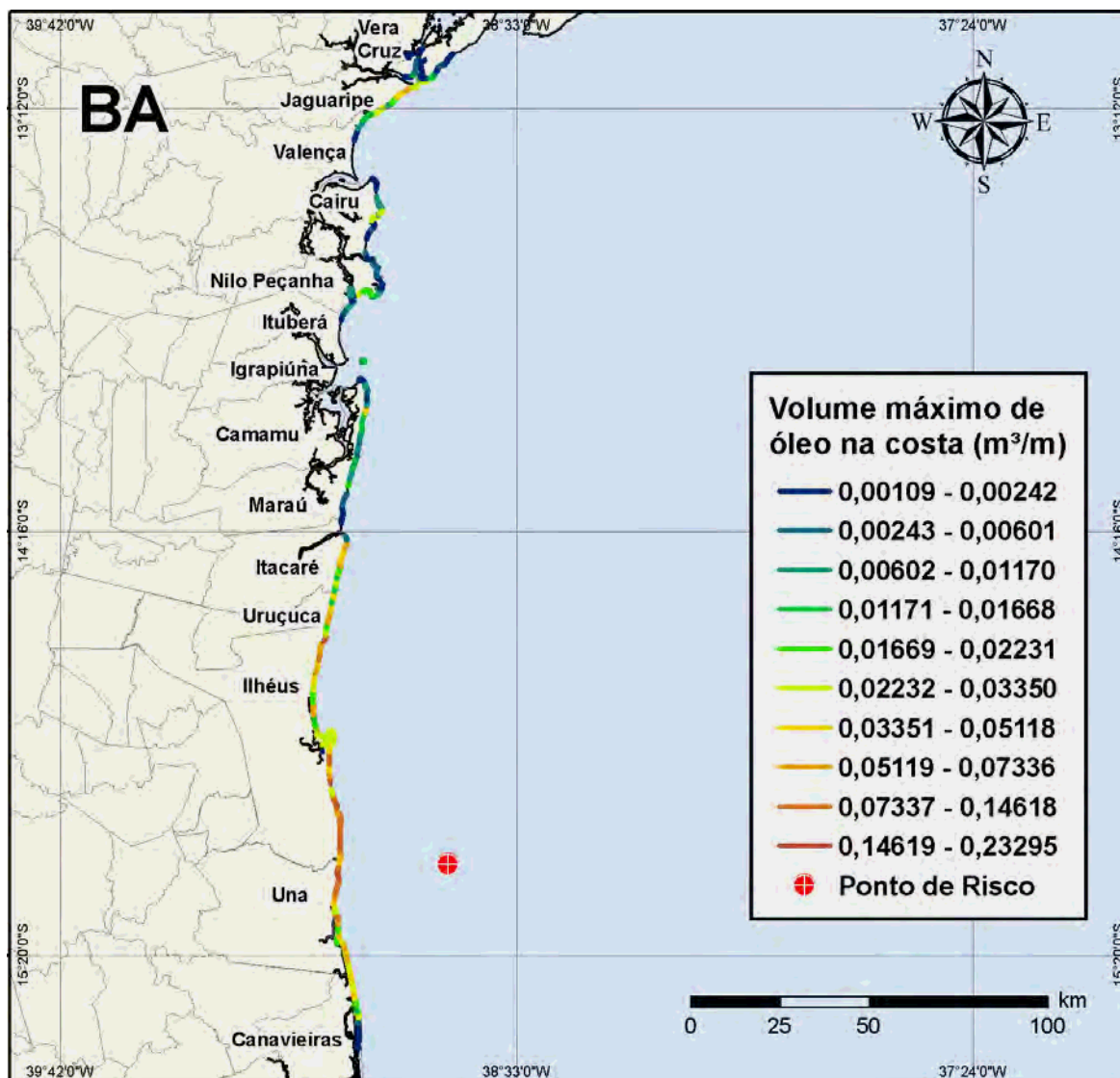


Figura V.1.3-16 - Cenário BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_PC_60D. Volume máximo de óleo na costa (m³/m) para um acidente ocorrendo a partir do Bloco BM-J-1, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de pior caso (durante 30 dias) de óleo tipo BAS-11, após 60 dias de simulação.

A tabela V.1.3-1 apresenta o percentual de simulações que impactaram a linha de costa, o menor período de tempo e o tempo médio para o óleo atingir a costa, para os acidentes simulados com volume de pior caso, ocorrendo durante os meses de verão e inverno.

Tabela V.1.3-1 - Resumo dos resultados da modelagem probabilística com volume de pior caso.

CENÁRIOS	TEMPO MÍNIMO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	PERCENTAGEM DE SIMULAÇÕES COM TOQUE NA COSTA (%)
BMJ_4_VERT_SW_VER_MDIESEL_PC_30D	14	29,32	100
BMJ_4_VERT_SW_VER_BAS11L_PC_60D	14	38,80	100
BMJ_4_VERT_SW_INV_MDIESEL_PC_30D	14	29,97	100
BMJ_4_VERT_SW_INV_BAS11_PC_60D	14	30,10	100

As tabelas V.1.3-2 e V.1.3-3 apresentam a probabilidade de toque e o tempo mínimo de toque na linha de costa para os municípios com probabilidade de toque, durante os meses de verão e de inverno, para os cenários com derrame de volume de pior caso, de óleo diesel marítimo e tipo BAS-11, respectivamente.

Nas simulações com derrames de pior caso, são observadas diferenças entre os resultados das simulações com cada tipo de produto considerado, devido às diferenças entre os derrames. Para o óleo tipo BAS-11 foi considerado um vazamento contínuo ao longo de 30 dias (*blowout*), diferentemente dos derrames instantâneos utilizados em todas as demais simulações neste estudo. De modo geral, o derrame de *blowout* implica em maiores extensões de costa atingidas e maiores probabilidades de toque na mesma. Consequentemente, isto possibilita que, em uma única simulação, o transporte do óleo seja resultante de uma significativa maior variação das condições oceanográficas e atmosféricas locais, quando comparada a uma simulação de derrame instantâneo.

Apesar das diferenças do tipo de derrame, o primeiro toque na costa ocorreu, para ambos os tipos de óleo nos Municípios Ilhéus e Una no verão, e em Ilhéus no inverno. Com relação às probabilidades de toque de óleo na costa, no caso do óleo diesel marítimo, as maiores probabilidades (até 30%) ocorreram em Una no período do verão, e no Município de Ilhéus (23%) durante o inverno, todos localizados no Estado da Bahia. Já para os derrames de óleo tipo BAS-11, as maiores probabilidades de toque (100%) foram calculadas, nos municípios de Una e Canavieiras verão e em Ilhéus e Una no inverno. Neste caso, além destes municípios, existem outros que apresentaram probabilidades de toque na costa superiores a 50%, consideravelmente superior ao calculado para os demais cenários simulados neste estudo.

Com relação ao volume máximo de óleo na costa, nos cenários de pior caso, observam-se menores volumes para o óleo tipo BAS-11 em relação ao óleo diesel marítimo, situação contrária em comparação aos outros cenários simulados. Isto se deve ao fato do derrame de pior caso com óleo tipo BAS-11 (7.500 m³) ocorrer ao longo de 30 dias (*blowout*), resultando em uma vazão de 10,41 m³/h. Esta diluição do volume total derramado no tempo resulta em menores volumes de óleo atingindo uma mesma região na costa. No estudo em questão, o derrame instantâneo de pior caso de óleo diesel marítimo (2.170,23 m³) é significativamente inferior ao volume total derramado no *blowout*, porém, ocasiona volumes maiores no tempo. É importante entender que o volume de óleo na costa apresentado nos cenários probabilísticos representa o volume do produto por extensão de um segmento de costa (m/m³) e não o volume total do óleo que atinge toda a costa.

Tabela V.1.3-2 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo diesel marítimo nos períodos de verão e inverno, com derrame de volume de pior caso.

NOME DO MUNICÍPIO	PROBABILIDADE (%)		TEMPO MÍNIMO DE TOQUE (HORAS)		VOLUME MÁXIMO NA COSTA (m ³ /m)		
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	
BA	Vera Cruz	N.A.	2	N.A.	88	N.A.	0,09034
	Jaguaripe	N.A.	4	N.A.	80	N.A.	0,193
	Valença	N.A.	2	N.A.	79	N.A.	0,05609
	Cairu	N.A.	2	N.A.	55	N.A.	0,21101
	Ituberá	N.A.	1	N.A.	61	N.A.	0,00071
	Nilo Peçanha	N.A.	2	N.A.	59	N.A.	0,01514
	Maraú	N.A.	6	N.A.	31	N.A.	0,14816
	Ilha de Queipe	N.A.	2	N.A.	47	N.A.	0,03866
	Itacaré	N.A.	10	N.A.	24	N.A.	0,21282
	Uruçá	N.A.	10	N.A.	25	N.A.	0,13158
	Ilhéus	12	23	15	14	0,32269	0,3301
	Una	30	19	14	16	0,35689	0,30927
	Canavieiras	24	6	20	25	0,26327	0,21244
	Belmonte	7	N.A.	40	N.A.	0,22261	N.A.
	Santa Cruz Cabrália	3	N.A.	54	N.A.	0,02957	N.A.
	Porto Seguro	5	N.A.	67	N.A.	0,0465	N.A.
	Prado	8	N.A.	127	N.A.	0,0465	N.A.
	Alcobaça	6	N.A.	207	N.A.	0,03397	N.A.
	Caravelas	4	N.A.	233	N.A.	0,01793	N.A.
	Arquipélago dos Abrolhos	1	N.A.	148	N.A.	0,0008	N.A.
Nova Viçosa	2	N.A.	259	N.A.	0,01284	N.A.	
Mucuri	2	N.A.	293	N.A.	0,00987	N.A.	
ES	São Mateus	1	N.A.	415	N.A.	0,00014	N.A.
	Conceição da Barra	1	N.A.	327	N.A.	0,00091	N.A.

N.A. = não aplicável (não há probabilidade de toque nestes municípios).

Tabela V.1.3-3 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo tipo BAS-11 nos períodos de verão e inverno, com derrame de volume de pior caso.

NOME DO MUNICÍPIO	PROBABILIDADE (%)		TEMPO MÍNIMO DE TOQUE (HORAS)		VOLUME MÁXIMO NA COSTA (m³/m)		
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	
BA	Vera Cruz	N.A.	32	N.A.	95	N.A.	0,02547
	Jaguaripe	N.A.	35	N.A.	85	N.A.	0,05424
	Valença	N.A.	32	N.A.	83	N.A.	0,01481
	Cairu	N.A.	33	N.A.	58	N.A.	0,02896
	Ituberá	N.A.	1	N.A.	69	N.A.	0,00115
	Nilo Peçanha	N.A.	29	N.A.	66	N.A.	0,0105
	Maraú	N.A.	54	N.A.	34	N.A.	0,04105
	Ilha de Queipe	N.A.	32	N.A.	52	N.A.	0,01413
	Itacaré	N.A.	53	N.A.	25	N.A.	0,06185
	Uruçá	N.A.	52	N.A.	26	N.A.	0,06084
	Ilhéus	90	100	16	14	0,05702	0,20648
	Una	100	100	14	18	0,2676	0,23295
	Canavieiras	100	64	22	27	0,15073	0,04938
	Belmonte	76	N.A.	48	N.A.	0,05687	N.A.
	Santa Cruz Cabrália	26	N.A.	68	N.A.	0,0079	N.A.
	Porto Seguro	15	N.A.	95	N.A.	0,01254	N.A.
	Prado	15	N.A.	177	N.A.	0,03041	N.A.
	Alcobaça	15	N.A.	224	N.A.	0,02075	N.A.
	Caravelas	13	N.A.	245	N.A.	0,00726	N.A.
	Arquipélago dos Abrolhos	1	N.A.	151	N.A.	0,0010	N.A.
Nova Viçosa	9	N.A.	261	N.A.	0,00412	N.A.	
Mucuri	6	N.A.	305	N.A.	0,00305	N.A.	
ES	São Mateus	1	N.A.	706	N.A.	0,00099	N.A.
	Conceição da Barra	1	N.A.	401	N.A.	0,001	N.A.

N.A. = não aplicável (não há probabilidade de toque nestes municípios).

Na tabela V.1.3-4 são apresentados os valores mínimos e máximos de óleo na superfície, evaporado, na coluna d'água e na costa (balanço de massa) ao final das 450 simulações determinísticas que compõem cada cenário probabilístico com derrame de pior caso. Observa-se que as taxas de evaporação variaram de 47 a 74% nos cenários com óleo diesel marítimo, e de 26 a 31% nos cenários com derrames de óleo BAS-11.

Tabela V.1.3-4 - Resumo do balanço de massa dos cenários probabilísticos com volume de pior caso.

CENÁRIOS	% NA SUPERFÍCIE		% EVAPORADO		% NA COLUNA D'ÁGUA		% NA COSTA	
	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.
BMJ1_LEADF2_MDIESEL_VER_PC_30D	0,00	0,064	47,50	74,57	0,00	0,00	25,32	52,49
BMJ1_LEADF2_BAS11_VER_PC_60D	0,00	0,00	26,99	30,80	0,00	0,00	69,19	73,00
BMJ1_LEADF2_MDIESEL_INV_PC_30D	0,00	0,03	47,42	64,13	0,00	0,01	35,86	52,57
BMJ1_LEADF2_BAS11_INV_PC_60D	0,00	0,00	27,64	31,79	0,00	0,001	68,20	72,35

V.2 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS CRÍTICAS

A análise dos resultados das simulações probabilísticas permitiu identificar os cenários determinísticos críticos de verão e inverno, para os derrames de volume pequeno, médio e de pior caso, com os óleos diesel marítimo e tipo BAS-11. Para essas simulações foram considerados como mais críticos os cenários que apresentaram menor tempo de toque na costa.

Adotando o mesmo padrão utilizado na apresentação dos resultados probabilísticos, os resultados são apresentados conforme os volumes de derrame simulados.

Na apresentação dos resultados determinísticos, são mostradas duas figuras para cada cenário. Na primeira figura do cenário apresenta-se a espessura da mancha no instante de primeiro toque, sendo que os valores da mesma são representados pela escala de cores indicada nas legendas. Nesta mesma figura, a cor cinza representa a região por onde a mancha se deslocou durante os dias de duração da simulação e, portanto, não está associada a uma espessura.

A segunda figura do cenário apresenta o gráfico com o balanço de massa da simulação (óleo na superfície, na coluna d'água, costa e evaporado), onde é possível visualizar os processos de intemperismo atuantes sobre a mancha de óleo durante a respectiva simulação.

V.2.1 Simulações Determinísticas Críticas para os Derrames Com Volume Pequeno

A seguir, são apresentados os resultados das simulações determinísticas críticas de verão e inverno com volume de derrame pequeno. Para ambos os tipos de óleo simulados, o menor tempo de toque na costa foi de 14 horas, tanto no verão quanto no inverno. No verão o menor tempo de toque do óleo na costa foi encontrado no município de Una (BA) e no inverno foi em Ilhéus (BA).

A tabela V.2.1-1 apresenta um resumo dos referidos cenários. Nesta tabela pode-se observar que as simulações determinísticas com derrames de óleo tipo BAS-11 apresentaram um maior volume final de óleo na costa quando comparado com as simulações de óleo diesel marítimo.

Tabela V.2.1-1 - Resumo dos cenários determinísticos críticos de volume de derrame pequeno.

CENÁRIOS	DATA DE INÍCIO	TEMPO PARA CHEGAR À COSTA (HORAS)	VOLUME FINAL DE ÓLEO QUE CHEGA À COSTA (m ³)
DET_BMJ1_LEADF2_VER_MDIESEL_8_30D	07/01/2004 – 10:00h	14	1,79
DET_BMJ1_LEADF2_VER_BAS11_8_30D	07/01/2004 – 10:00h	14	4,97
DET_BMJ1_LEADF2_INV_MDIESEL_8_30D	12/07/2004 – 16:00h	14	1,93
DET_BMJ1_LEADF2_INV_BAS11_8_30D	12/07/2004 – 16:00h	14	5,04

As figuras V.2.1-1 a V.2.1-4 apresentam os resultados das simulações determinísticas críticas de verão com derrame de volume pequeno para os dois tipos de óleo simulados. Já as figuras V.2.1-5 a V.2.1-8 apresentam os resultados para inverno. Nos balanços de massa observa-se que, ao final das simulações, cerca de 80% do óleo diesel e 40% do óleo cru evaporaram.

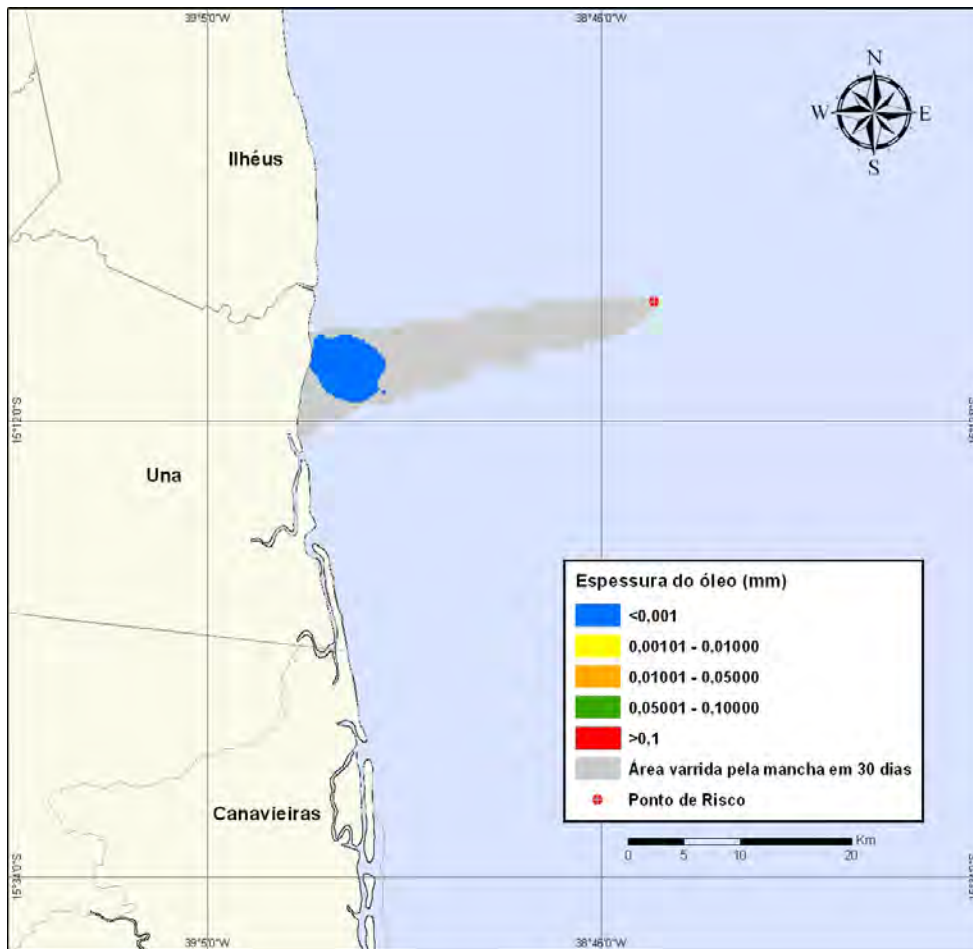


Figura V.2.1-1 - DET_BMJ1_LEADF2_VER_MDIesel_8_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume pequeno com óleo diesel marítimo, ocorrido durante o verão.

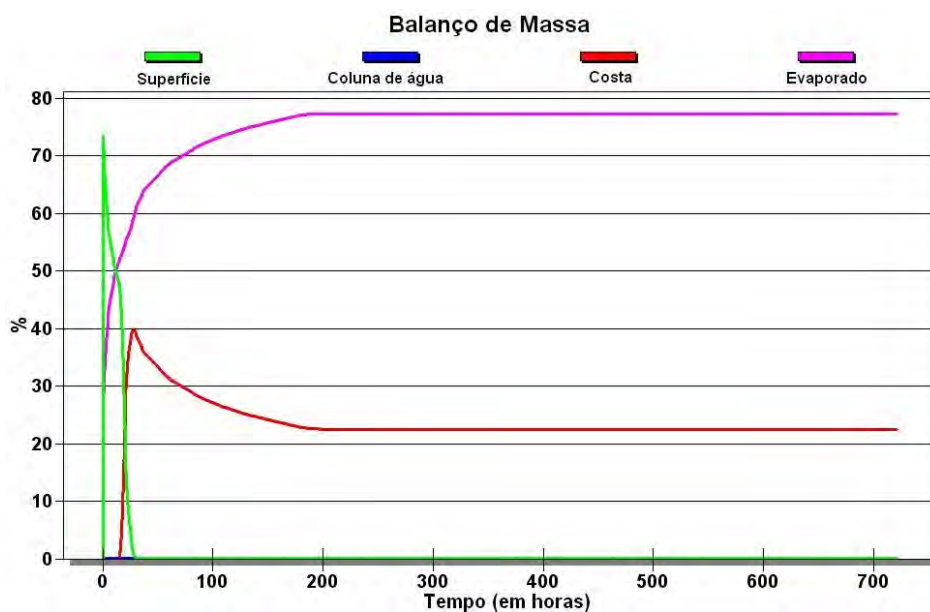


Figura V.2.1-2 - Balanço de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.1-1.

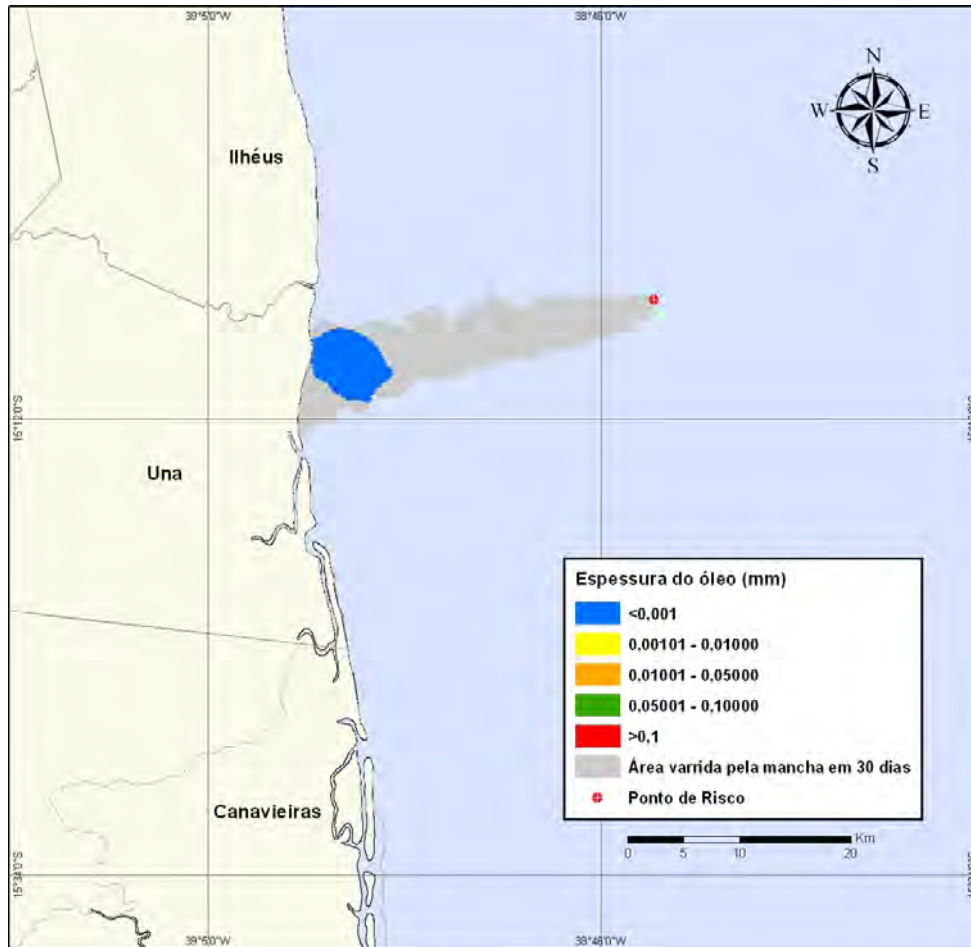


Figura V.2.1-3 - DET_BMJ1_LEADF2_VER_BAS11_8_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume pequeno com óleo tipo BAS-11, ocorrido durante o verão.

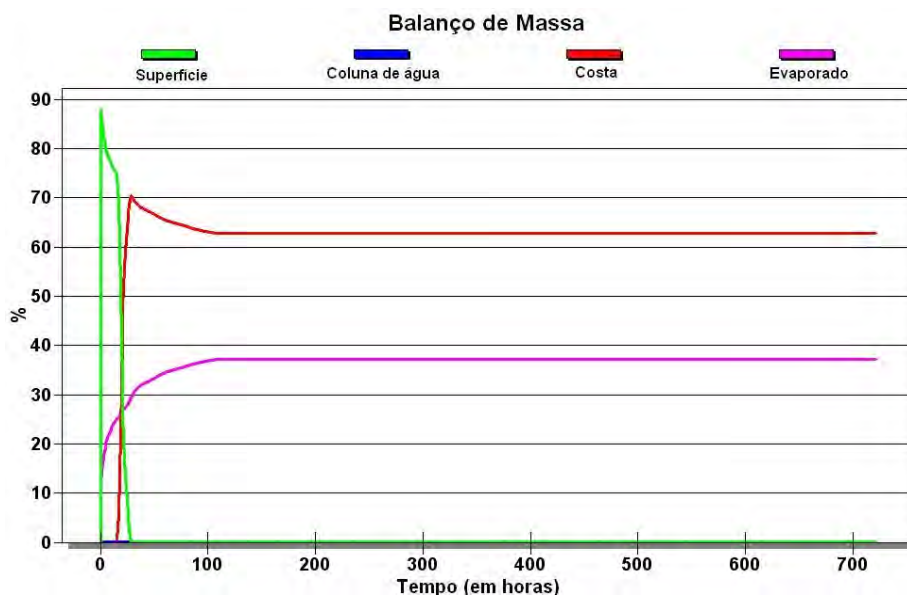


Figura V.2.1-4 - Balanço de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.1-3.

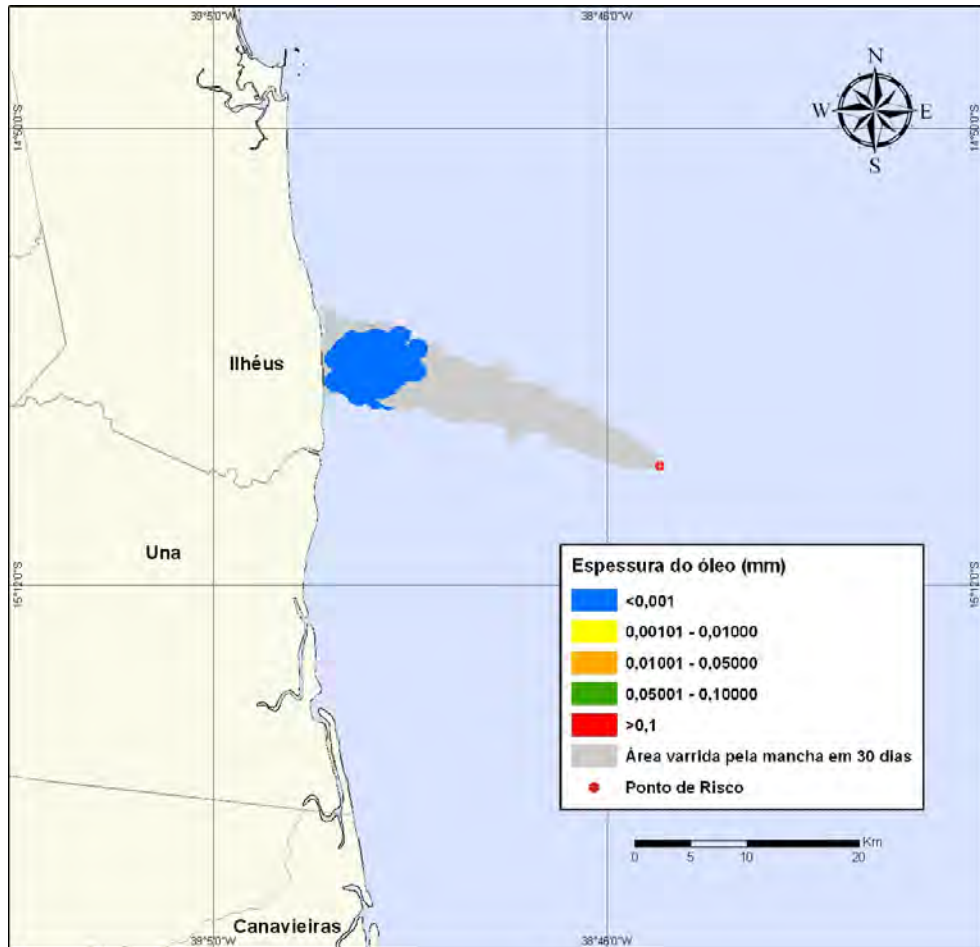


Figura V.2.1-5 - DET_BMJ1_LEADF2_INV_MDIASEL_8_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume pequeno com óleo diesel marítimo, ocorrido durante o inverno.

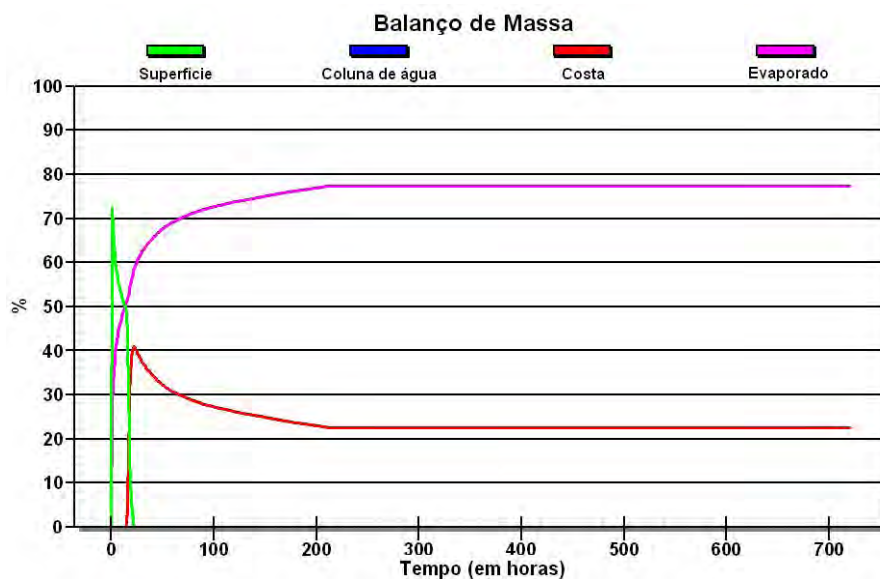


Figura V.2.1-6 - Balanço de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.1-5.

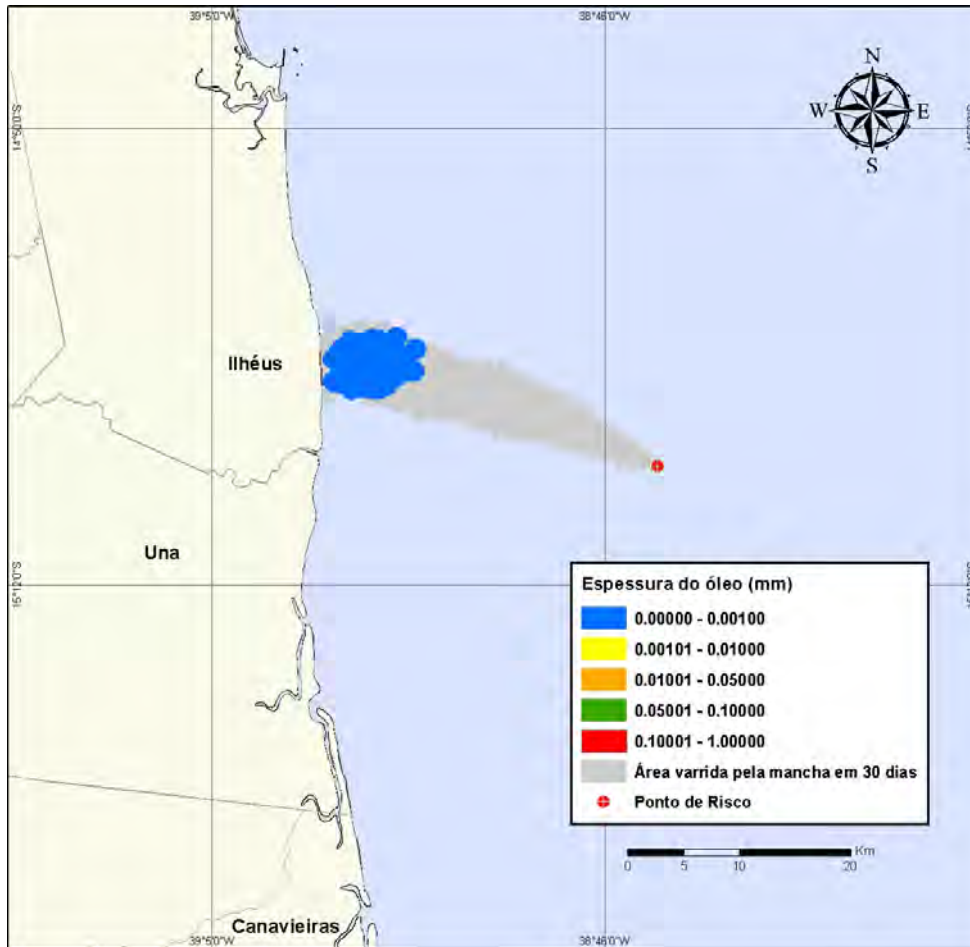


Figura V.2.1-7 - DET_BMJ1_LEADF2_INV_BAS11_8_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume pequeno com óleo tipo BAS-11, ocorrido durante o inverno.

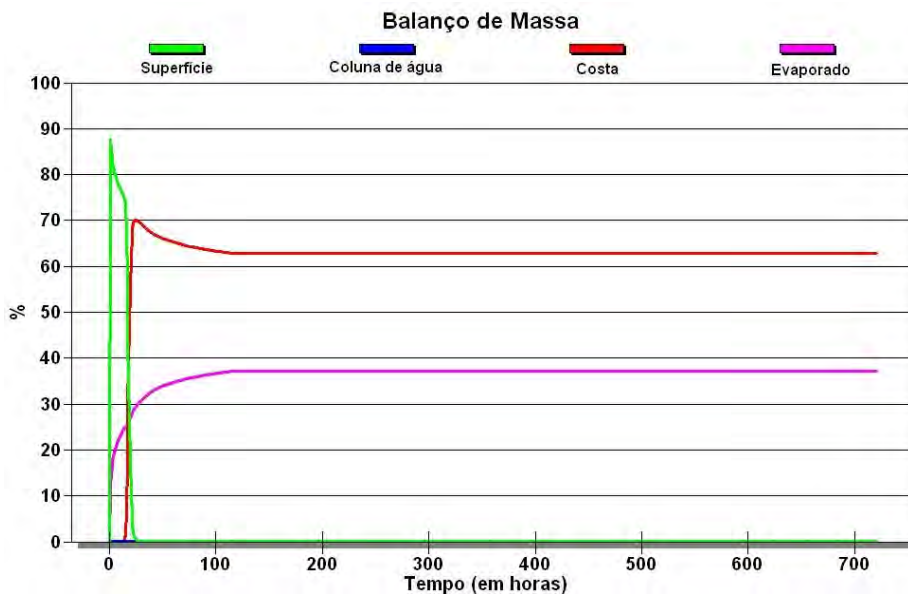


Figura V.2.1-8 - Balanço de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.1-7.

V.2.2 Simulações Determinísticas Críticas para os Derrames Com Volume Médio

A seguir, são apresentados os resultados das simulações determinísticas críticas de verão e inverno com volume de derrame médio. Novamente, para ambos os tipos de óleo simulados, o menor tempo de toque na costa foi de 14 horas, tanto no verão quanto no inverno. No verão o menor tempo de toque do óleo na costa foi encontrado no município de Una (BA) e no inverno foi em Ilhéus (BA).

A tabela V.3.2-1 apresenta um resumo dos referidos cenários. Nesta tabela observa-se, também, que as simulações determinísticas com derrames de óleo tipo BAS-11 apresentaram um maior volume final de óleo na costa quando comparado com as simulações de óleo diesel marítimo.

Tabela V.2.2-1 - Resumo dos cenários determinísticos críticos de volume de derrame médio.

CENÁRIOS	DATA DE INÍCIO	TEMPO PARA CHEGAR À COSTA (HORAS)	VOLUME FINAL DE ÓLEO QUE CHEGA À COSTA (m ³)
DET_BMJ1_LEADF2_VER_MDIESEL_200_30D	07/01/2004 – 10:00h	14	44,0
DET_BMJ1_LEADF2_VER_BAS11_200_30D	07/01/2004 – 10:00h	14	124,0
DET_BMJ1_LEADF2_INV_MDIESEL_200_30D	12/07/2004 – 16:00h	14	48,0
DET_BMJ1_LEADF2_INV_BAS11_200_30D	12/07/2004 – 16:00h	14	125,0

As figuras V.2.2-1 a V.2.2-4 apresentam os resultados das simulações determinísticas críticas de verão com derrame de volume médio para os dois tipos de óleo simulados. Já as figuras V.2.2-5 a V.2.2-8 apresentam os resultados para inverno. Nos balanços de massa observa-se que, ao final das simulações, cerca de 70-80% do óleo diesel e 30-40% do óleo cru evaporaram.

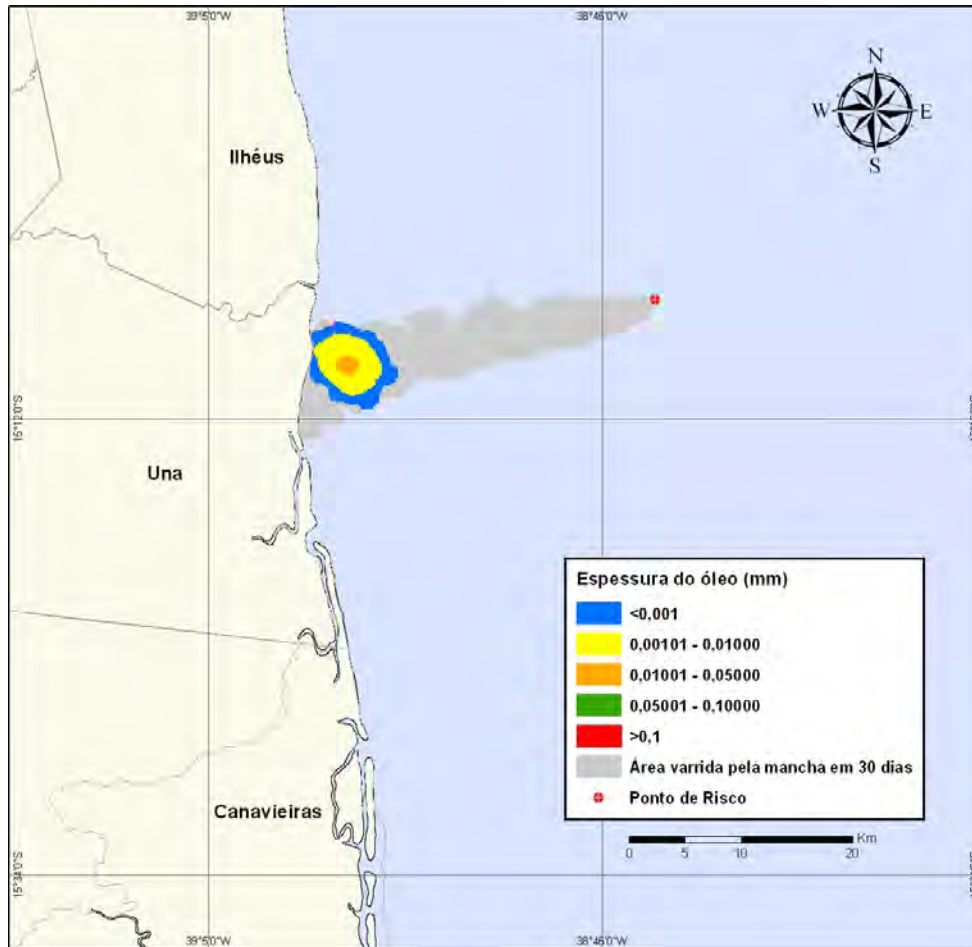


Figura V.2.2-1 - DET_BMJ1_LEADF2_VER_MDIESEL_200_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume médio com óleo diesel marítimo, ocorrido durante o verão.

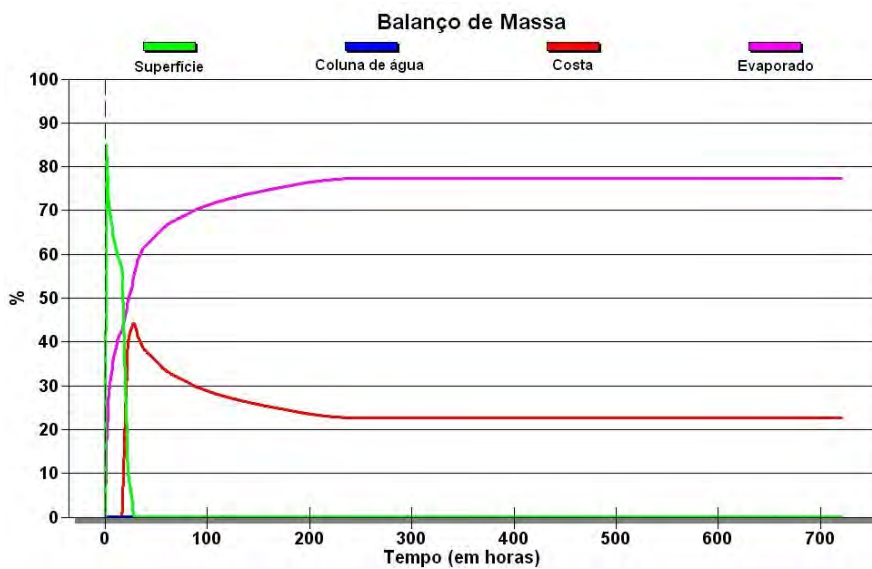


Figura V.2.2-2 - Balanco de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.2-1.

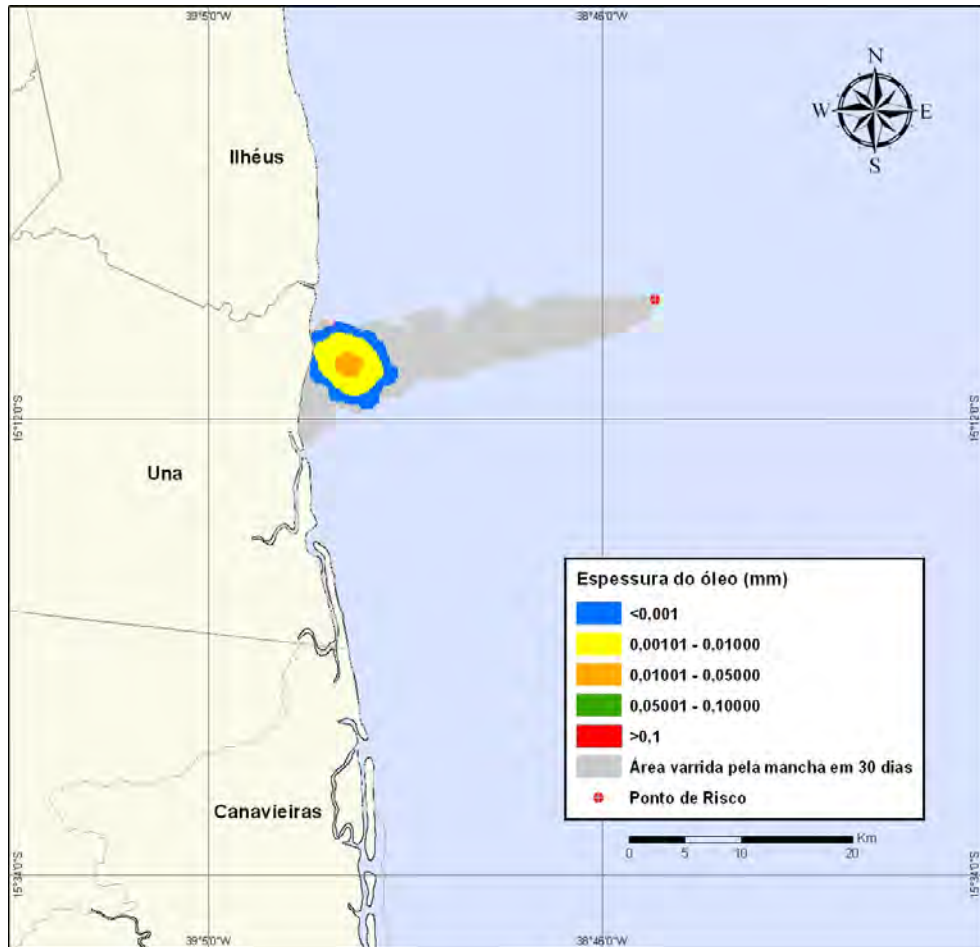


Figura V.2.2-3 - DET_BMJ1_LEADF2_VER_BAS11_200_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume médio com óleo tipo BAS-11, ocorrido durante o verão.

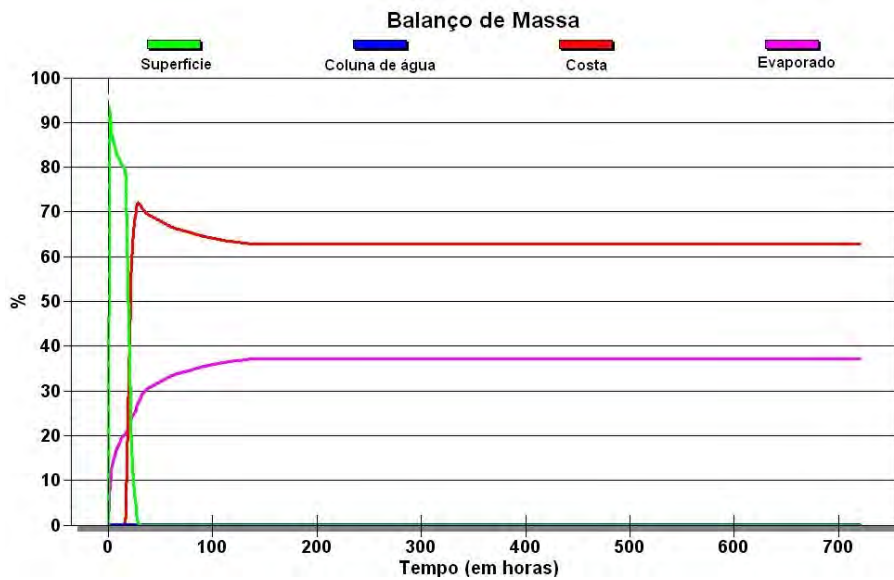


Figura V.2.2-4 - Balanço de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.2-3.

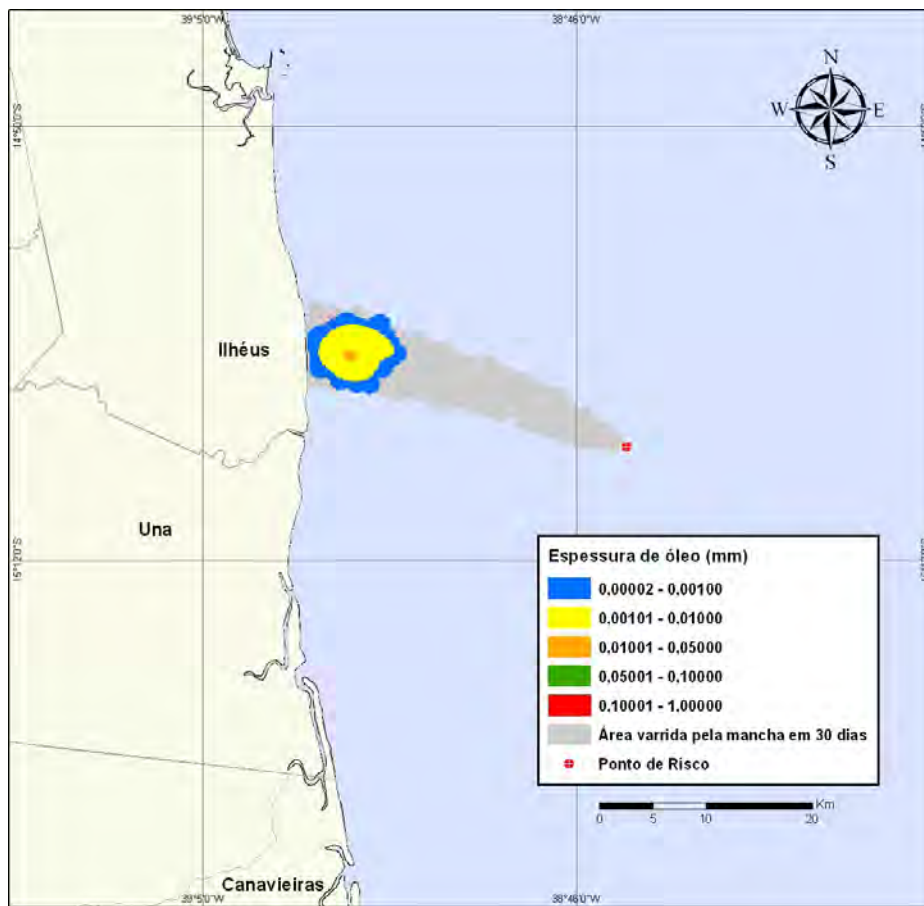


Figura V.2.2-5 - DET_BMJ1_LEADF2_INV_MDIesel_200_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume médio com óleo diesel marítimo, ocorrido durante o inverno.

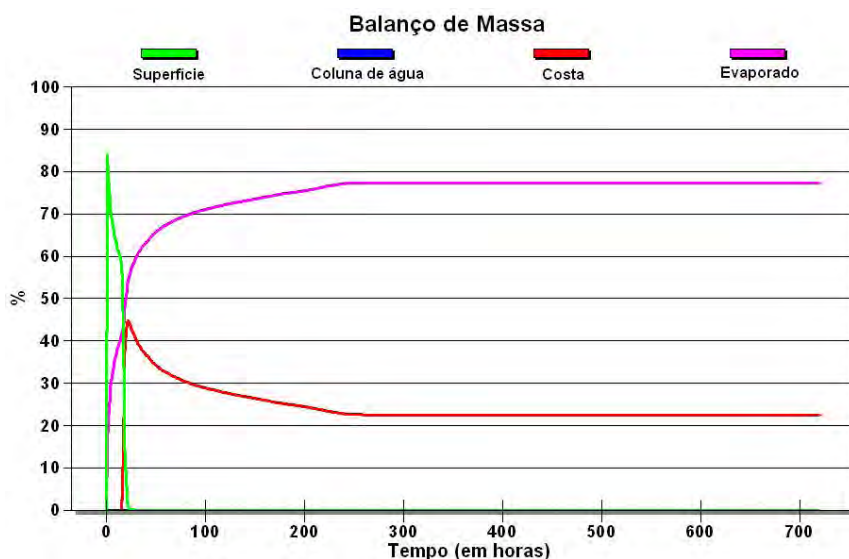


Figura V.2.2-6- Balanco de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.2-5.

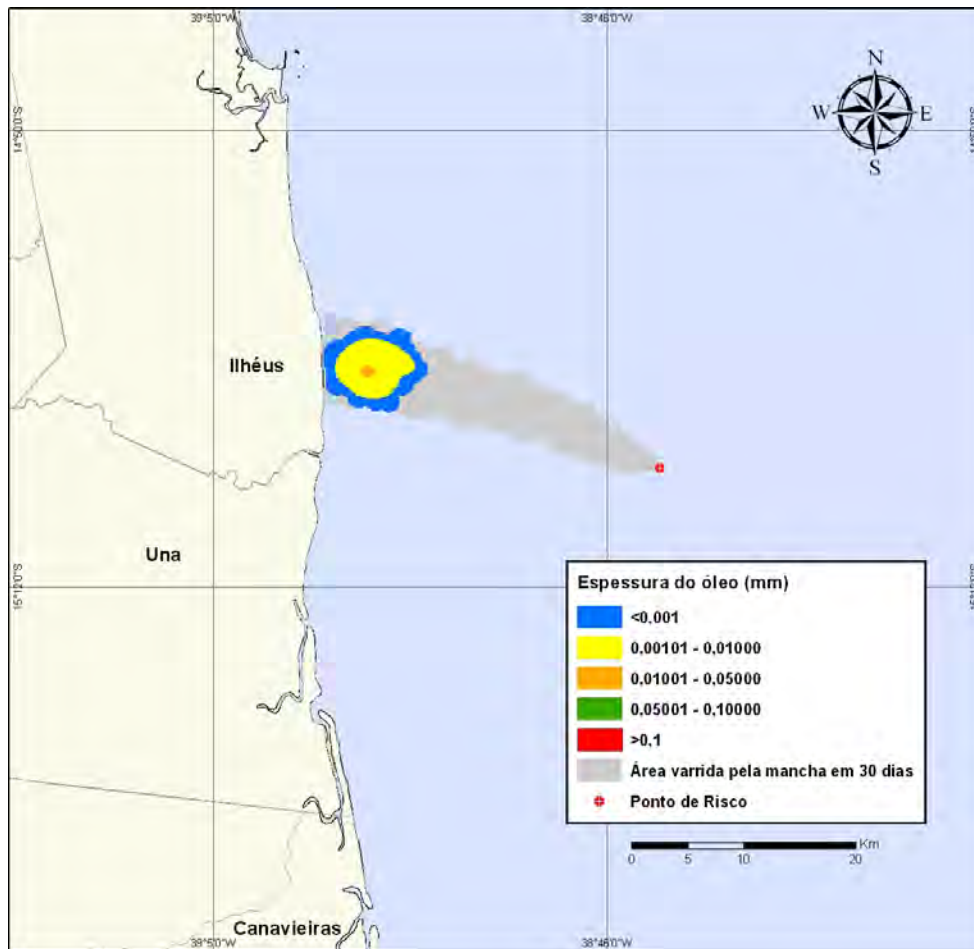


Figura V.2.2-7 - DET_BMJ1_LEADF2_INV_BAS11_200_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume médio com óleo tipo BAS-11, ocorrido durante o inverno.

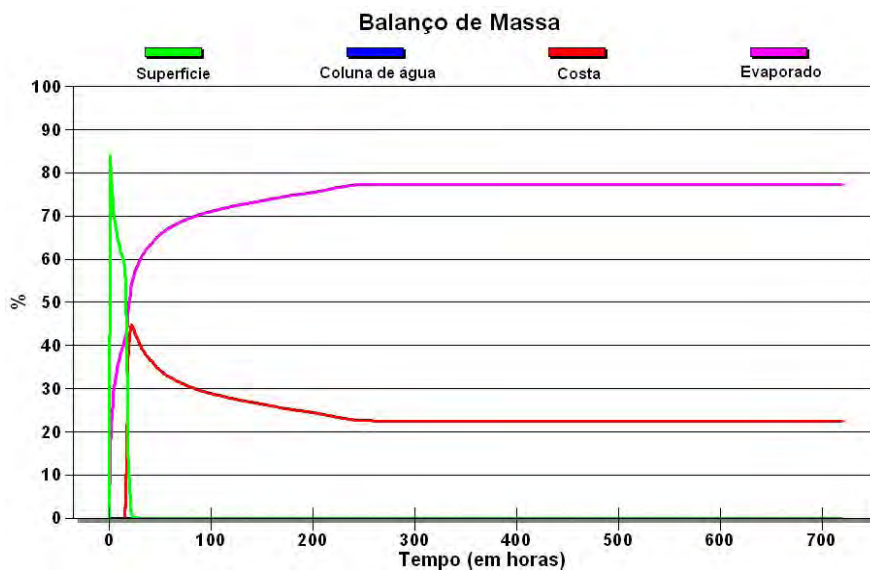


Figura V.2.2-8 - Balanço de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.2-7.

V.2.3 Simulações Determinísticas Críticas para os Derrames Com Volume de Pior Caso

A seguir, são apresentados os resultados das simulações determinísticas críticas de verão e inverno com volume de derrame de pior caso. Para ambos os tipos de óleo simulados, o menor tempo de toque na costa foi de 14 horas, tanto no verão quanto no inverno. No verão o menor tempo de toque do óleo na costa foi encontrado no município de Una (BA) e no inverno foi em Ilhéus (BA).

A tabela V.2.3-1 apresenta um resumo dos referidos cenários. Nesta tabela observa-se, também, que as simulações determinísticas com derrames de óleo tipo BAS-11 apresentaram um maior volume final de óleo na costa quando comparado com as simulações de óleo diesel marítimo.

Tabela V.2.3-1 - Resumo dos cenários determinísticos críticos de volume de derrame de pior caso.

CENÁRIOS	DATA DE INÍCIO	TEMPO PARA CHEGAR À COSTA (HORAS)	VOLUME FINAL DE ÓLEO QUE CHEGA À COSTA (m ³)
DET_BMJ1_LEADF2_VER_MDIESEL_PC_30D	07/01/2004 – 10:00h	14	502,0
DET_BMJ1_LEADF2_VER_BAS11_PC_60D	07/01/2004 – 10:00h	14	4.684,0
DET_BMJ1_LEADF2_INV_MDIESEL_PC_30D	12/07/2004 – 16:00h	14	523,0
DET_BMJ1_LEADF2_INV_BAS11_PC_60D	12/07/2004 – 16:00h	14	5.172,0

As figuras V.2.3-1 a V.2.3-4 apresentam os resultados das simulações determinísticas críticas de verão com derrame de volume de pior caso para os dois tipos de óleo simulados. Já as figuras V.2.3-5 a V.2.3-8 apresentam os resultados para inverno. Nos balanços de massa observa-se que, ao final das simulações, cerca de 70% do óleo diesel e 40% do óleo cru evaporaram.

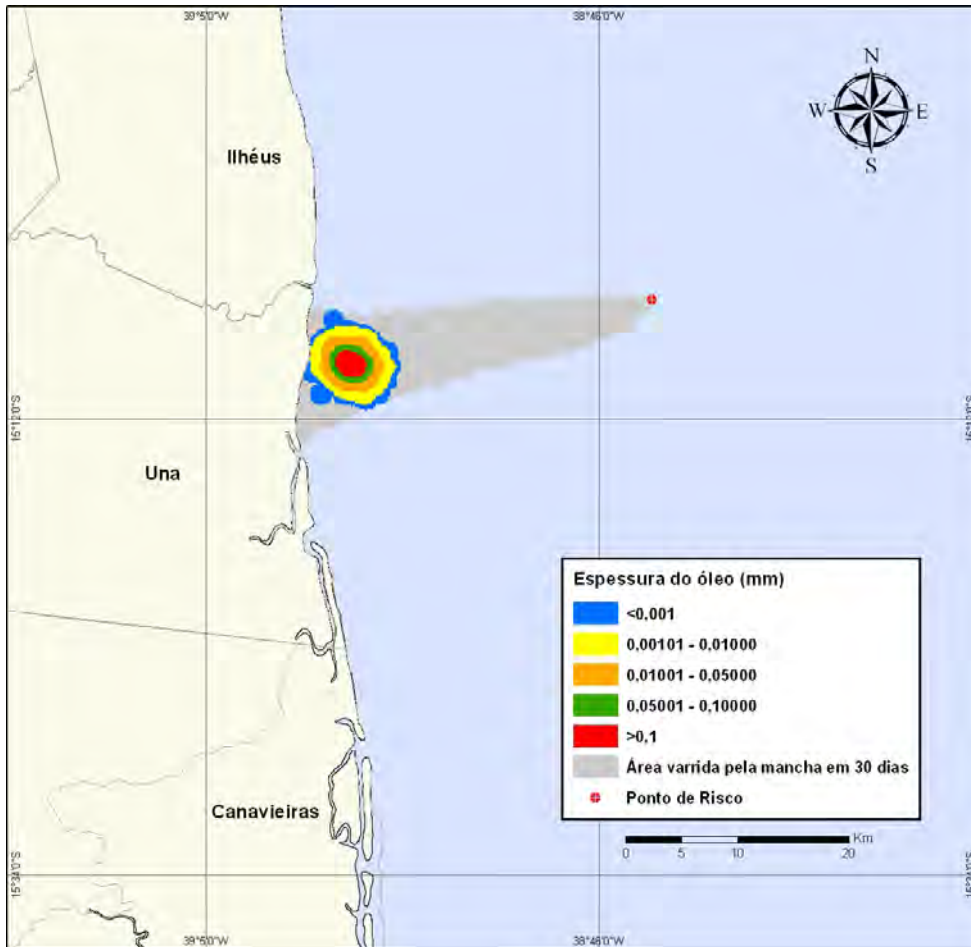


Figura V.2.3-1 - DET_BMJ1_LEADF2_VER_MDIesel_PC_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume de pior caso com óleo diesel marítimo, ocorrido durante o verão.

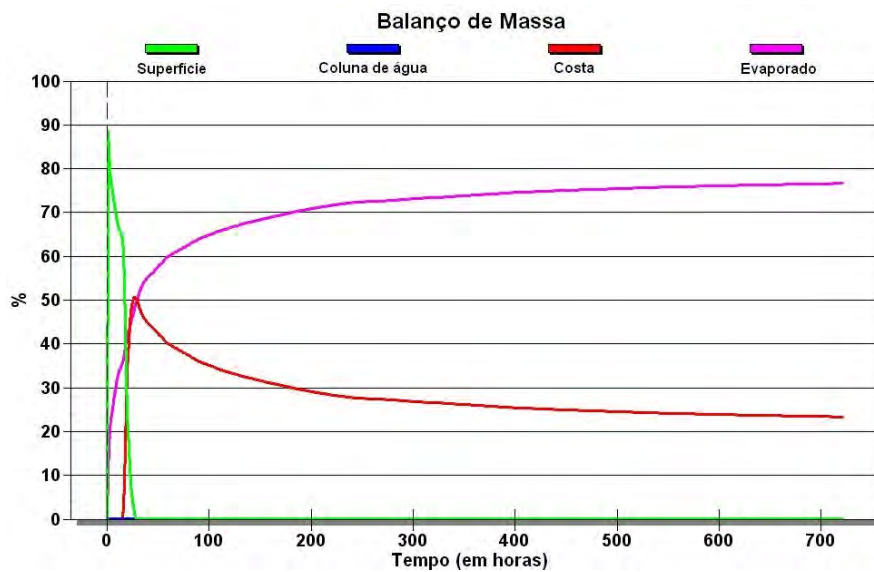


Figura V.2.3-2 - Balanço de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.3-1.

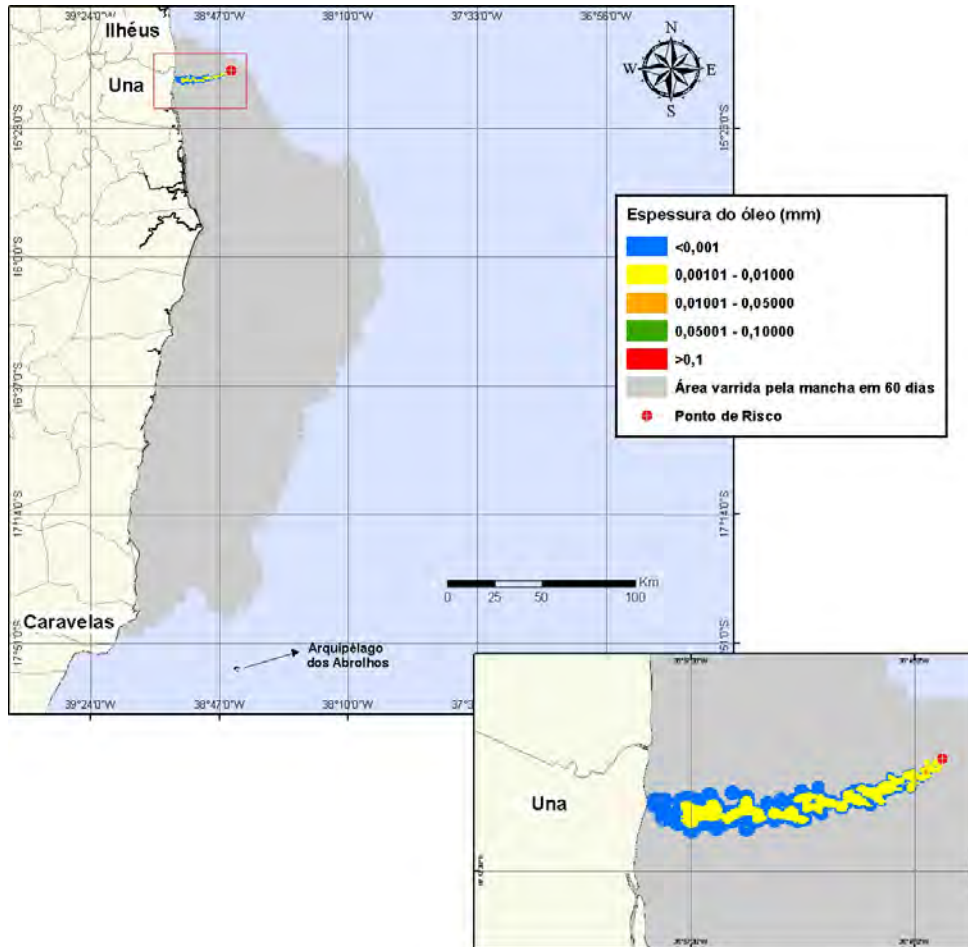


Figura V.2.3-3 - DET_BMJ1_LEADF2_VER_BAS11_PC_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume de pior caso com óleo tipo BAS-11, ocorrido durante o verão.

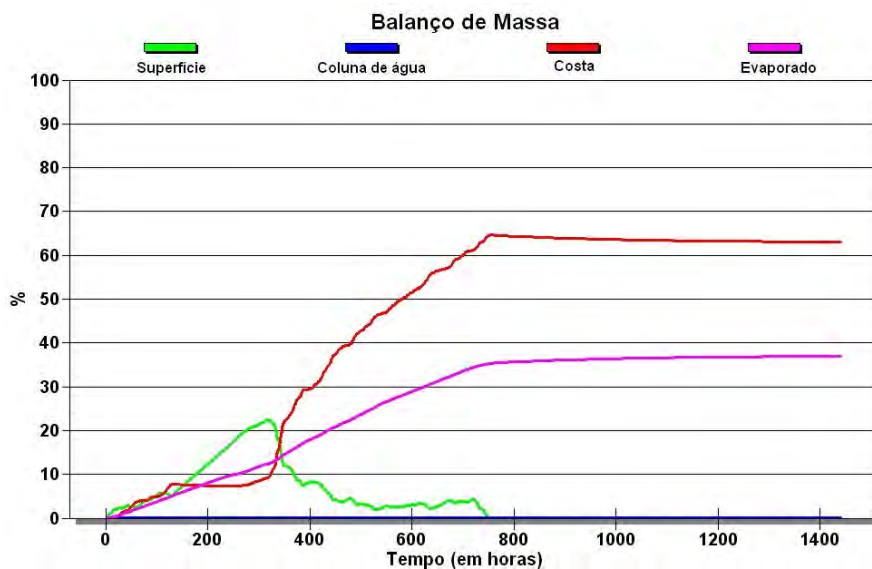


Figura V.2.3-4 - Balanço de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.3-3.

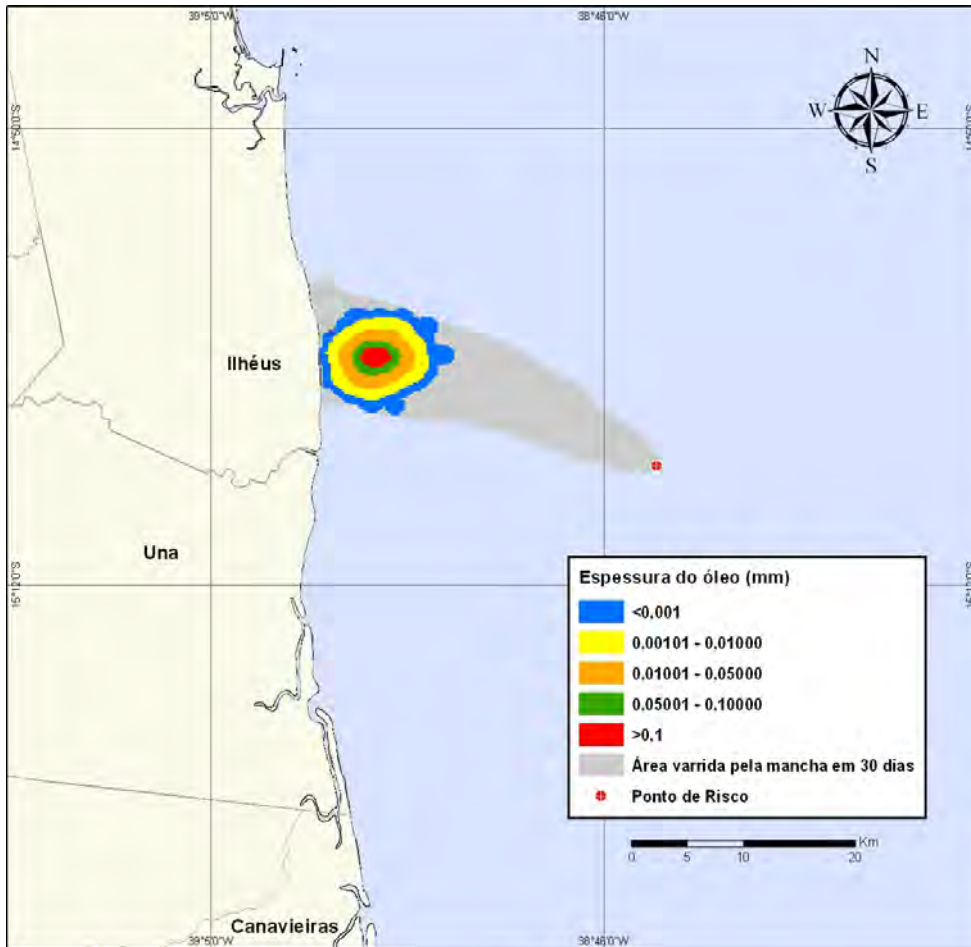


Figura V.2.3-5 - DET_BMJ1_LEADF2_INV_MDIIESEL_PC_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume de pior caso com óleo diesel marítimo, ocorrido durante o inverno.

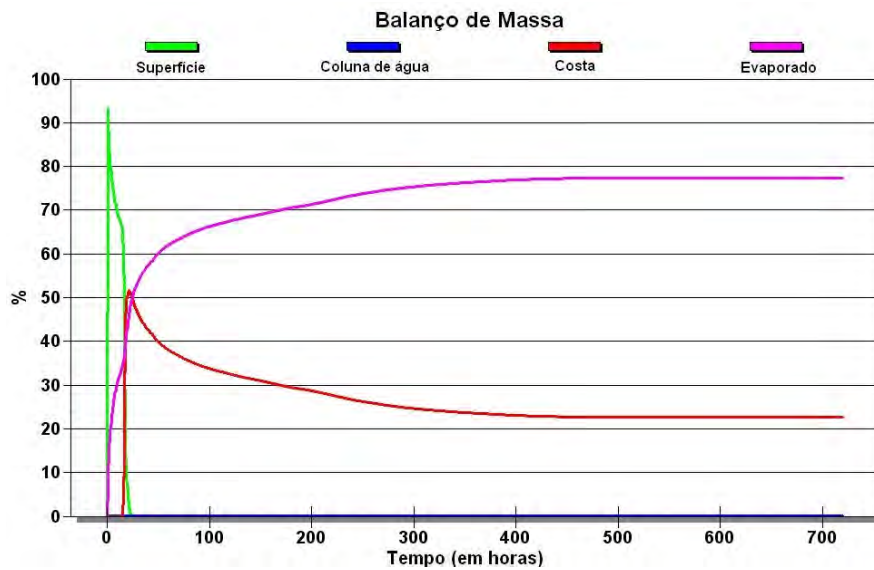


Figura V.2.3-6 - Balanço de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.3-5.

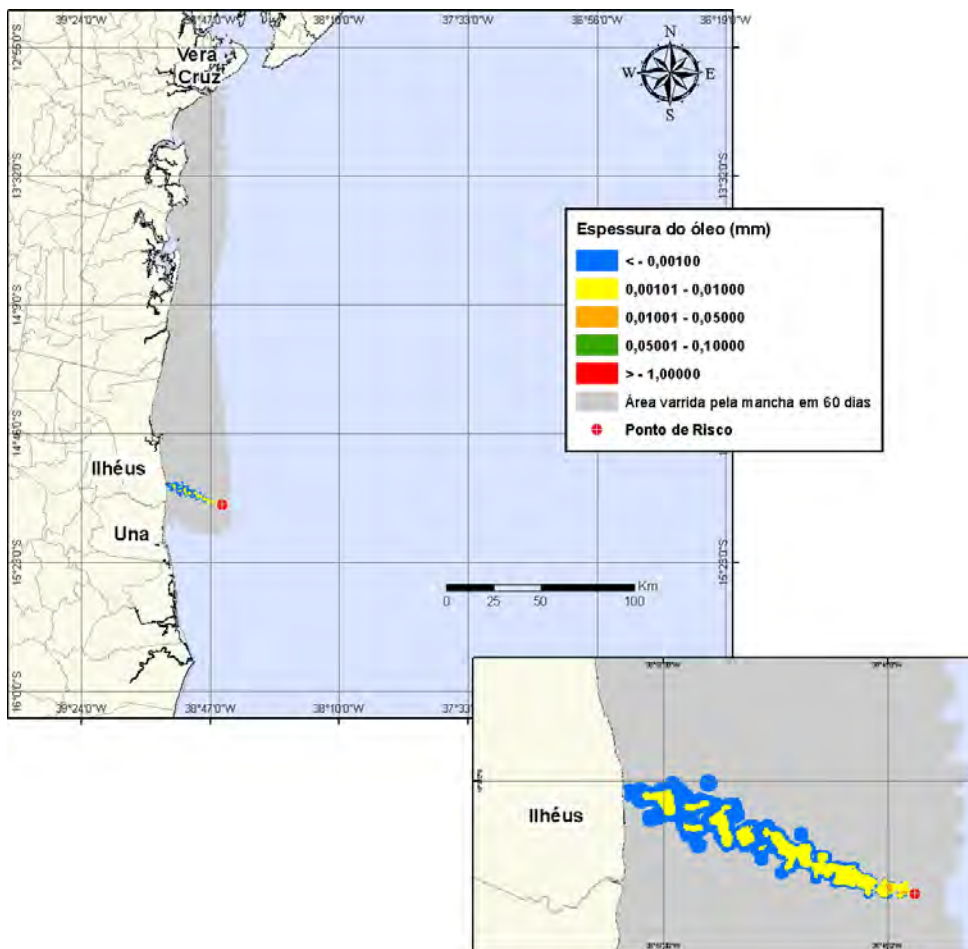


Figura V.2.3-7 - DET_BMJ1_LEADF2_INV_BAS11_PC_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame de volume de pior caso com óleo tipo BAS-11, ocorrido durante o inverno.

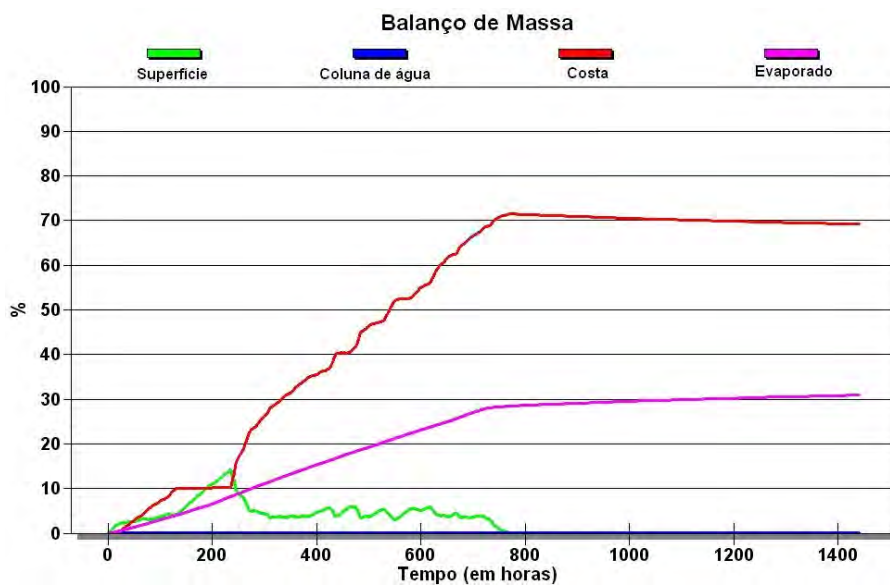


Figura V.2.3-8 - Balanço de massa do cenário determinístico crítico apresentado na figura V.2.3-7.

V.3 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS MAIS CRÍTICAS

Para as simulações determinísticas mais críticas são apresentados instantes do deslocamento da mancha de óleo do início da simulação até o primeiro toque do óleo na costa, onde é possível visualizar a espessura da mancha e as condições meteorológicas e oceanográficas que proporcionaram este primeiro toque. Para demonstrar a evolução do deslocamento da mancha, foram escolhidos os cenários de pior caso com derrames de óleo diesel marítimo e tipo BAS-11, períodos de verão e inverno. Esta escolha deve-se ao fato de os mesmos terem sido considerados os acidentes mais críticos em termos de tempo de toque e volume final de óleo que chega à costa.

As figuras V.3-1 a V.3-3 apresentam ilustrações das condições meteorológicas e oceanográficas, a partir do início do derrame até o primeiro toque na costa, para o cenário determinístico mais crítico do período de verão, com derrame de pior caso de óleo diesel marítimo.

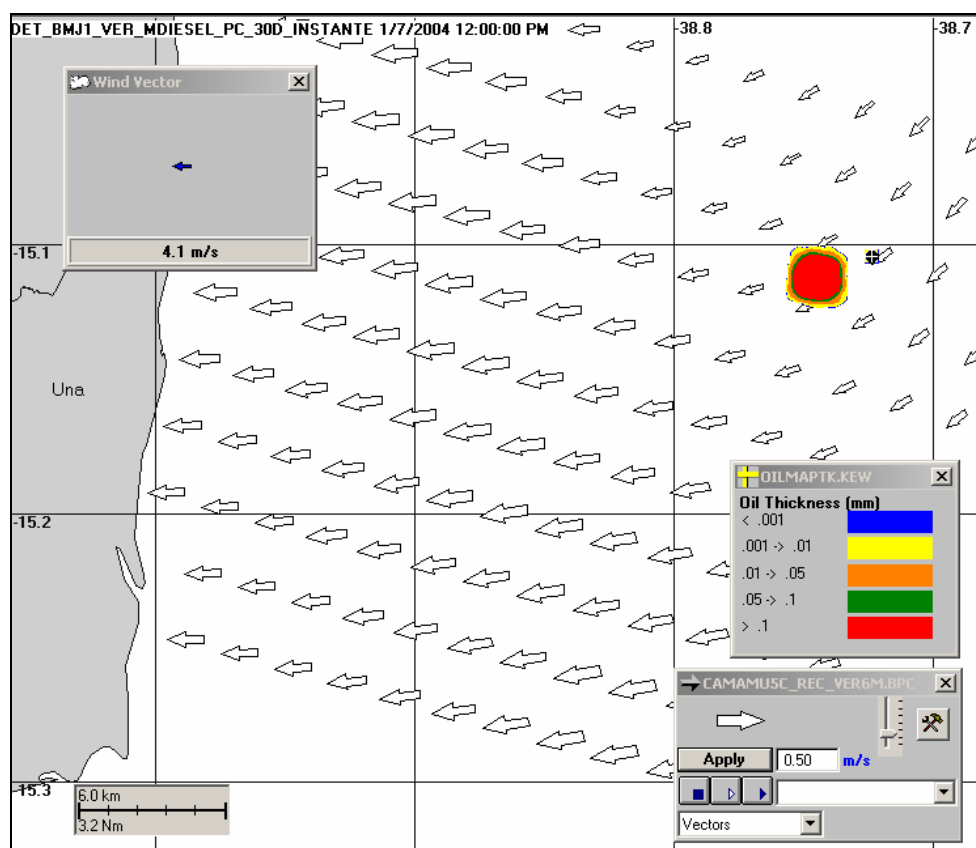


Figura V.3-1 - Cenário DET_BMJ1_LEADF2_VER_MDIESEL_PC_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação.

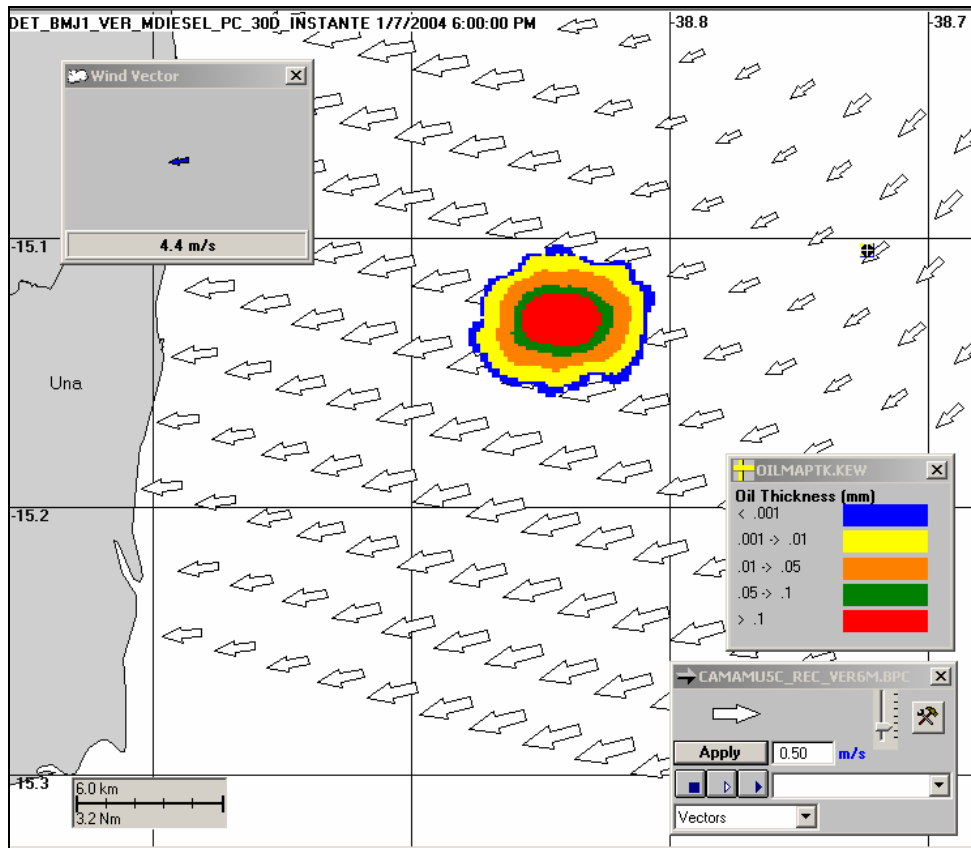


Figura V.3-2 - Cenário DET_BMJ1_LEADF2_VER_MDIesel_PC_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo 8 horas após o início da simulação.

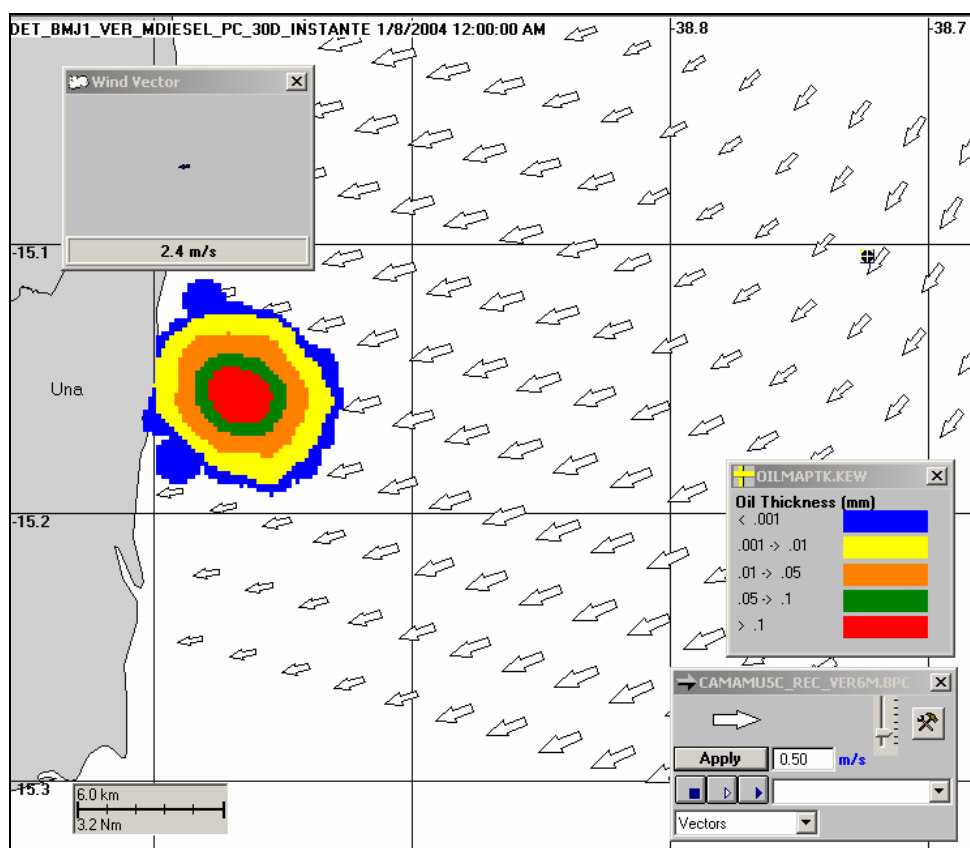


Figura V.3-3 - Cenário DET_BMJ1_LEADF2_VER_MDIesel_PC_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação (13 horas).

Já as figuras V.3-4 a V.3-6 apresentam ilustrações das condições meteorológicas e oceanográficas, a partir do início do derrame até o primeiro toque na costa, para o cenário determinístico mais crítico do período de verão, com derrame de pior caso de óleo tipo BAS-11.

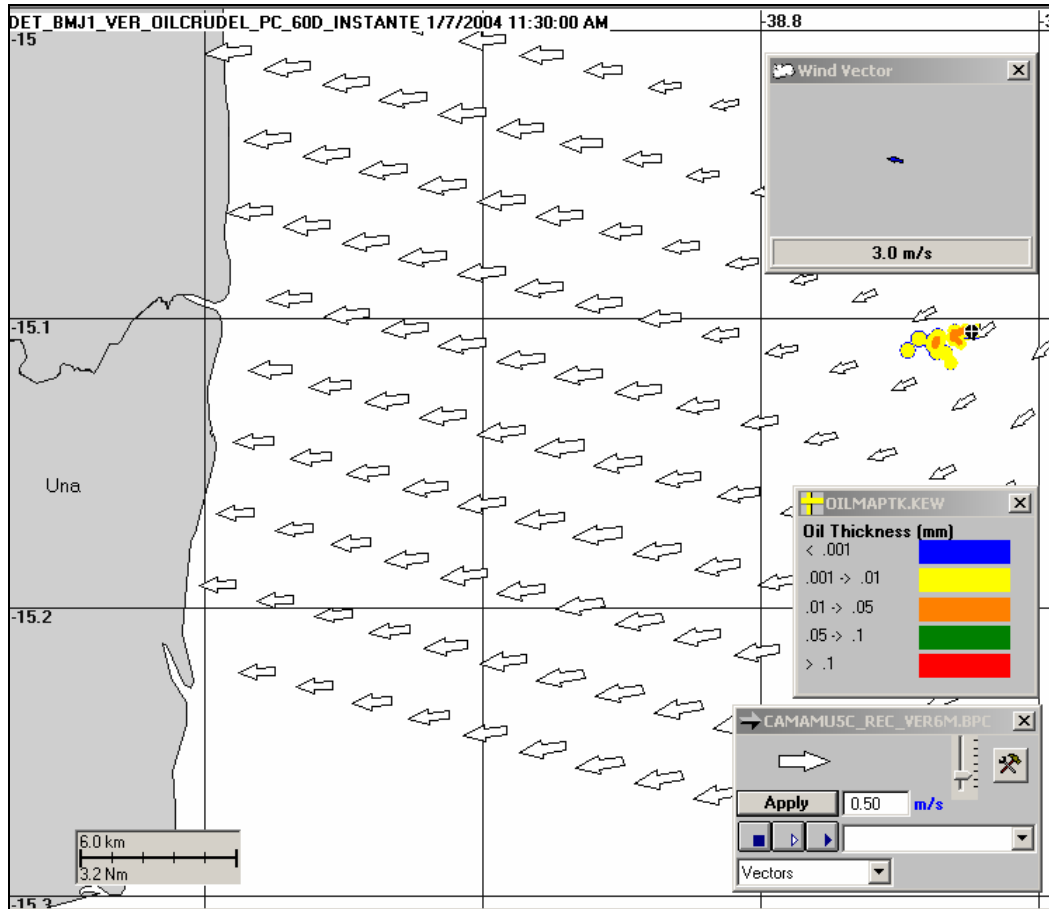


Figura V.3-4 - Cenário DET_BMJ1_LEADF2_VER_BAS11_PC_60D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação.

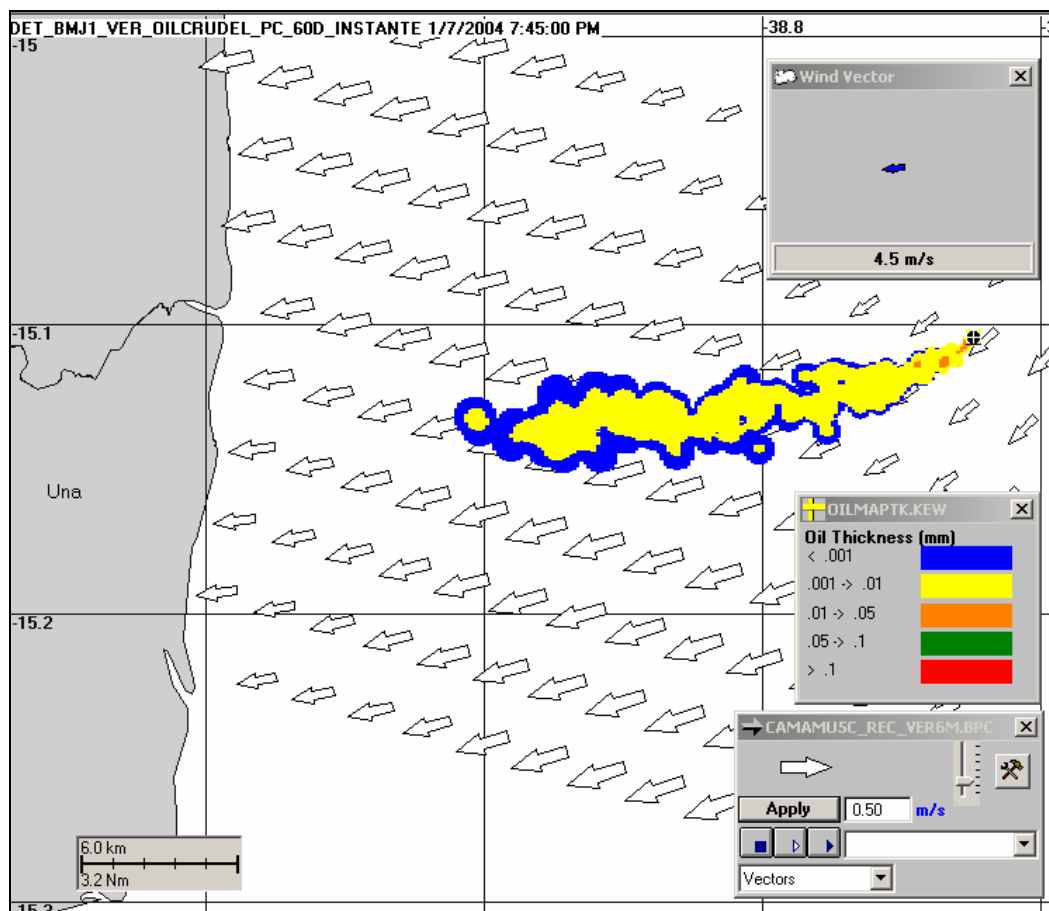


Figura V.3-5 - Cenário DET_BMJ1_LEADF2_VER_BAS11_PC_60D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo 10 horas após o início da simulação.

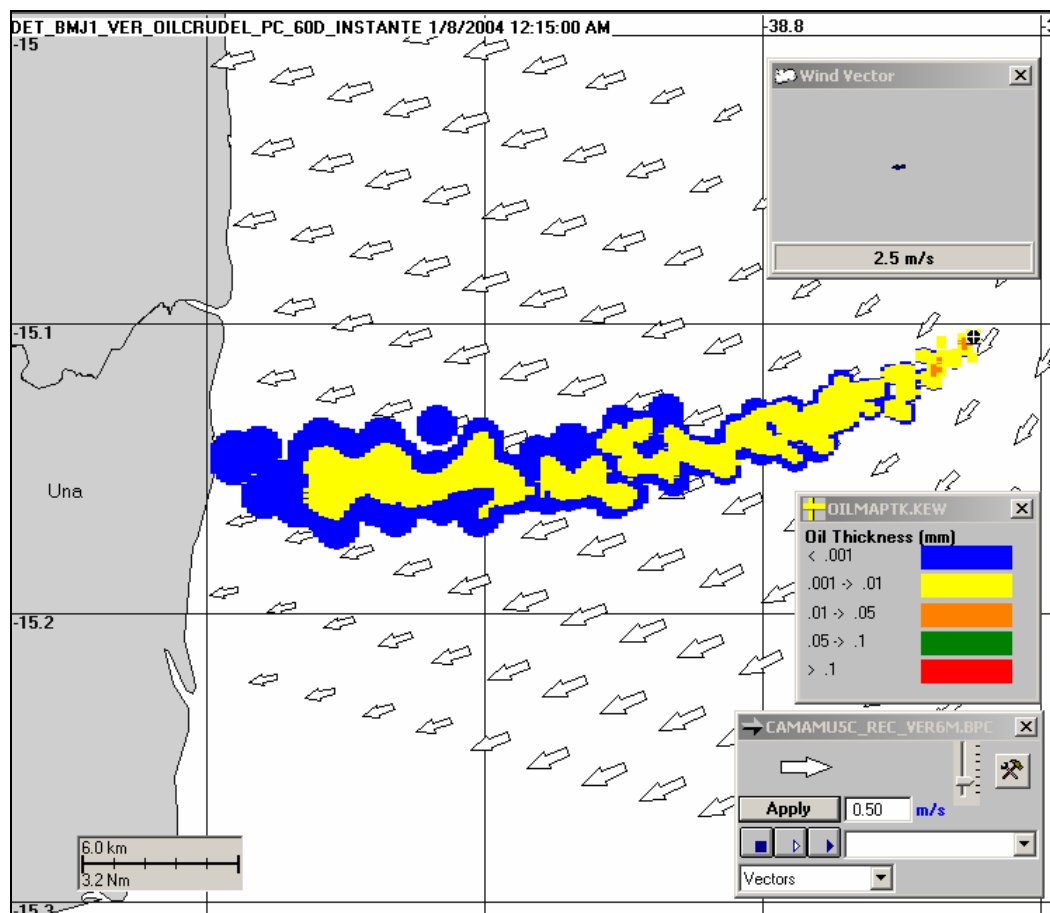


Figura V.3-6 - Cenário DET_BMJ1_LEADF2_VER_BAS11_PC_60D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação (14 horas).

As figuras V.3-7 a V.3-9 apresentam ilustrações das condições meteorológicas e oceanográficas, a partir do início do derrame até o primeiro toque na costa, para o cenário determinístico mais crítico do período de inverno, com derrame de pior caso de óleo diesel marítimo.

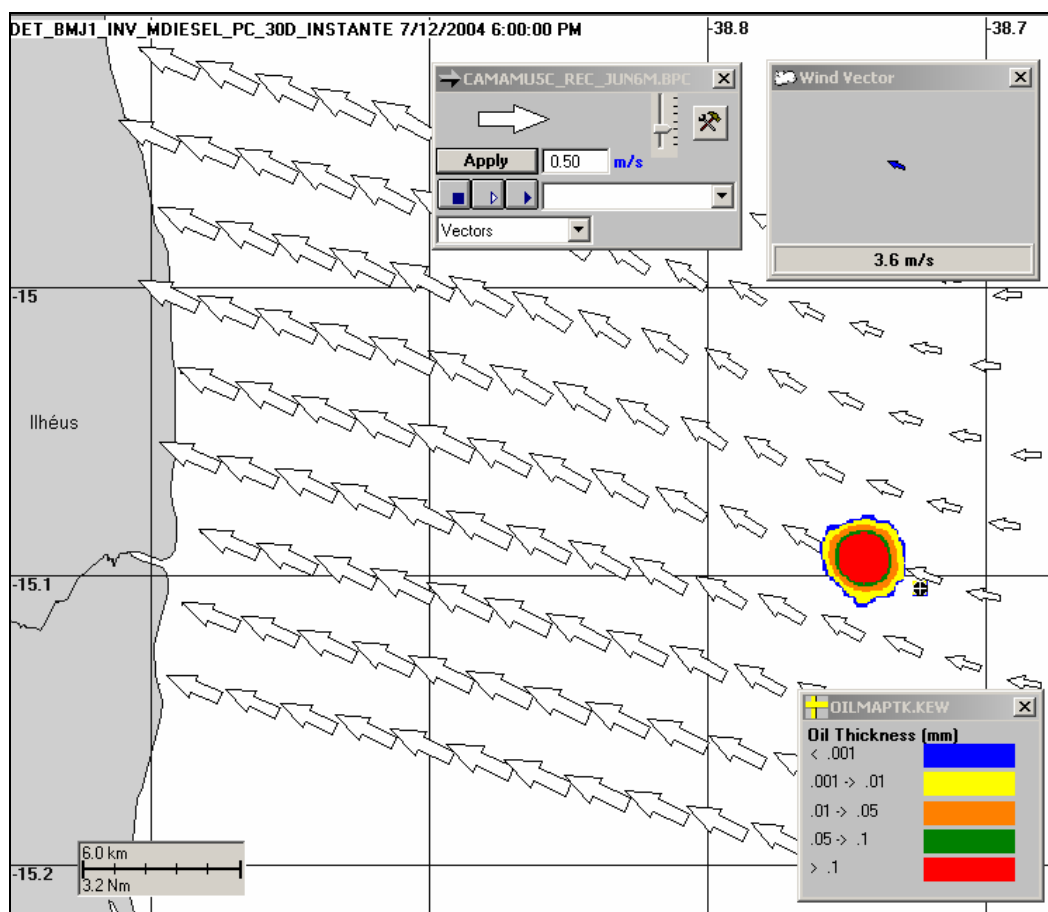


Figura V.3-7 - Cenário DET_BMJ_4_VERT_SW_INV_MDIesel_PC_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação.

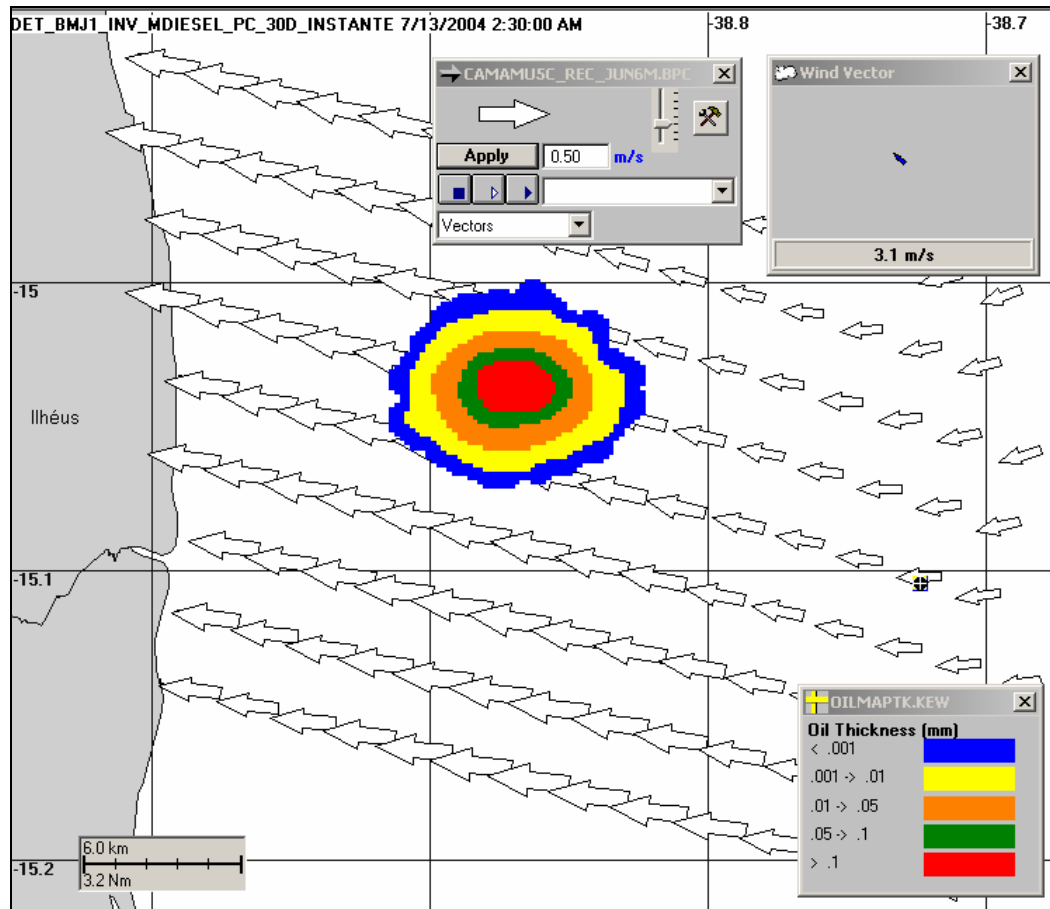


Figura V.3-8 - Cenário DET_BMJ_4_VERT_SW_INV_MDIESEL_PC_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo 10 horas após o início da simulação.

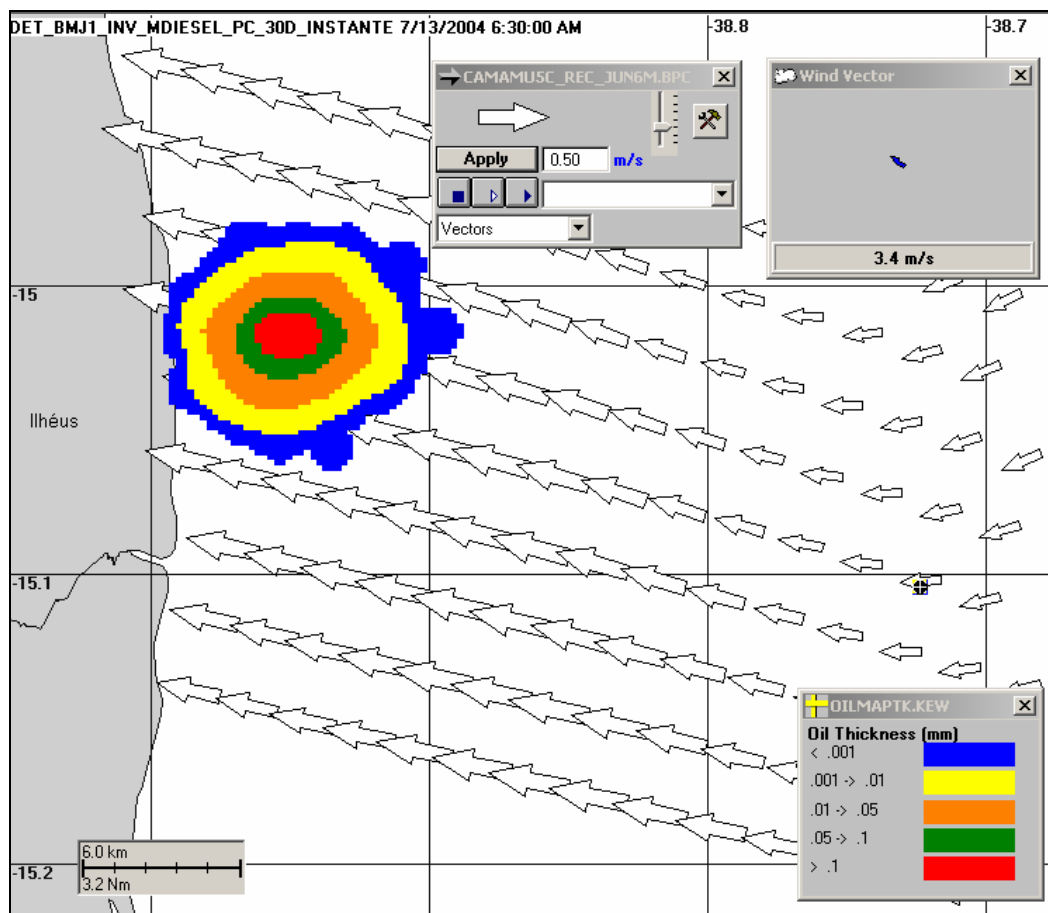


Figura V.3-9 - Cenário DET_BMJ_4_VERT_SW_INV_MDIESEL_PC_30D Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação (14 horas).

As figuras V.3-10 a V.3-12 apresentam ilustrações das condições meteorológicas e oceanográficas, a partir do início do derrame até o primeiro toque na costa, para o cenário determinístico mais crítico do período de inverno, com derrame de pior caso de óleo BAS-11.

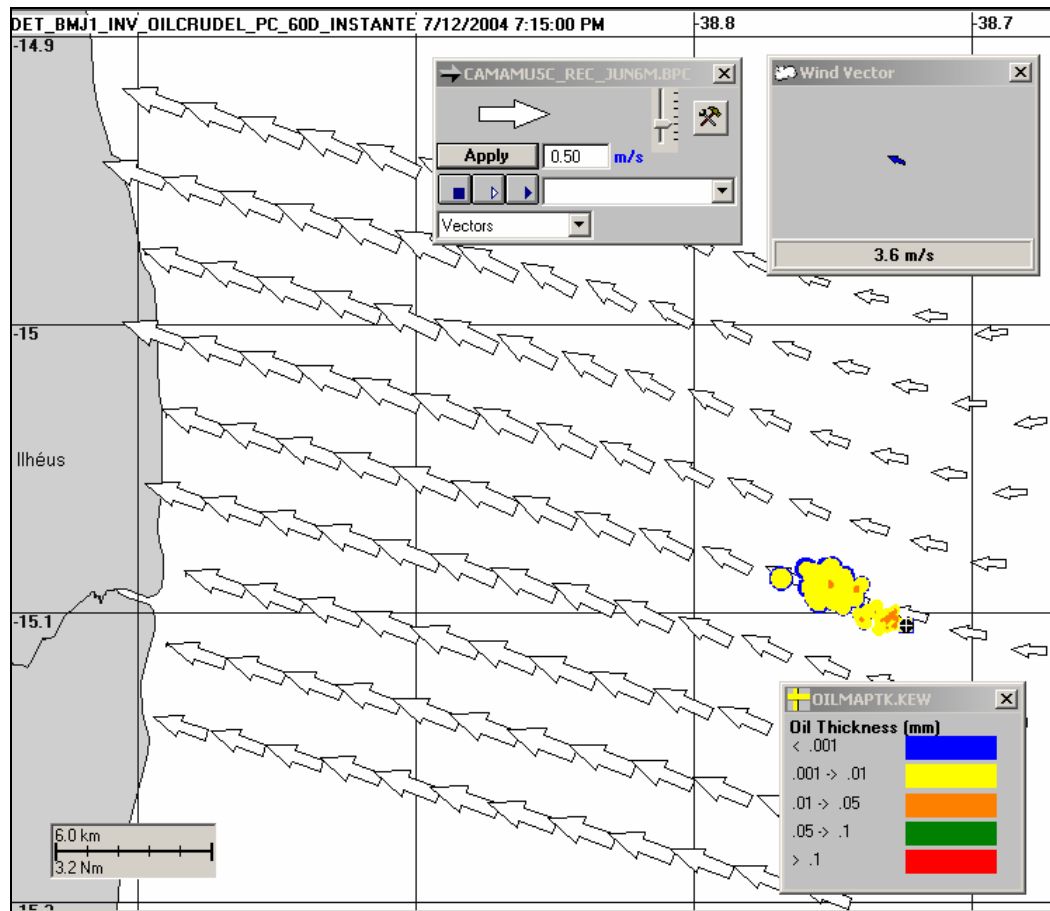


Figura V.3-10 - Cenário DET_BMJ_4_VERT_SW_INV_BAS11_PC_60D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação.

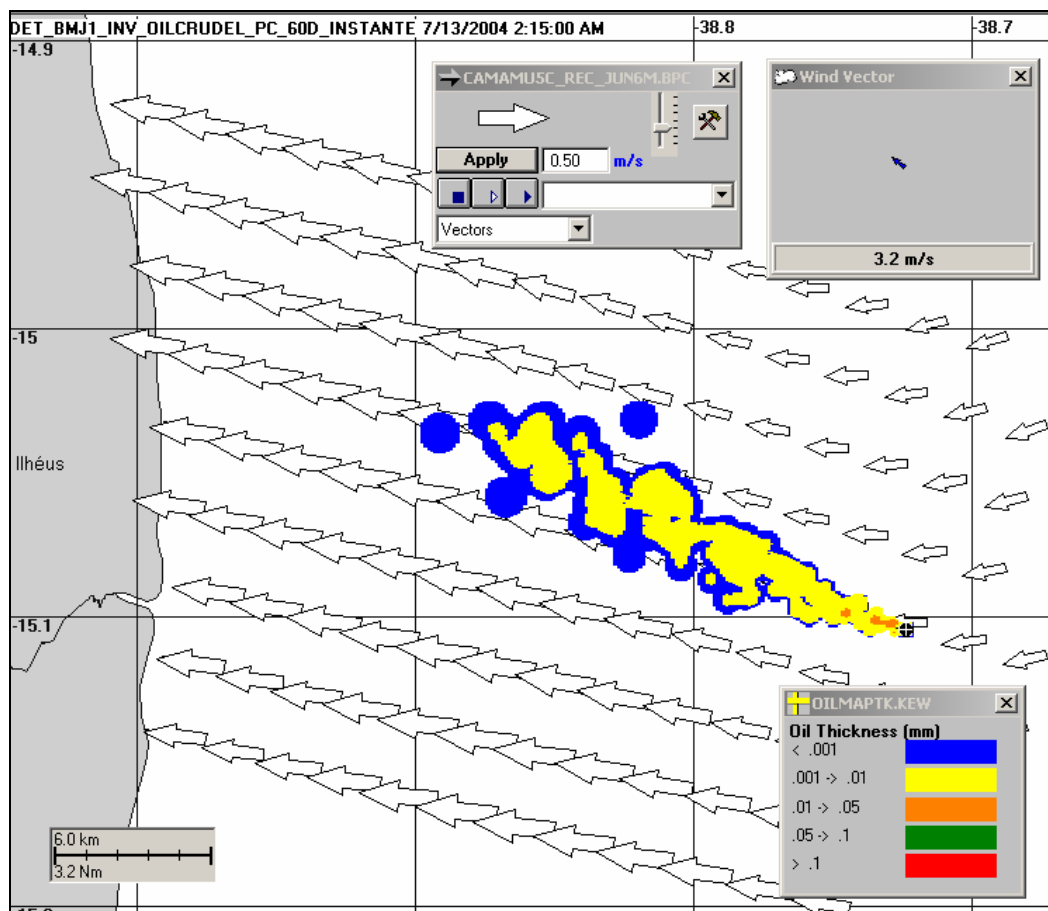


Figura V.3-11 - Cenário DET_BMJ1_LEADF2_INV_BAS11_PC_60D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo 10 horas após o início da simulação.

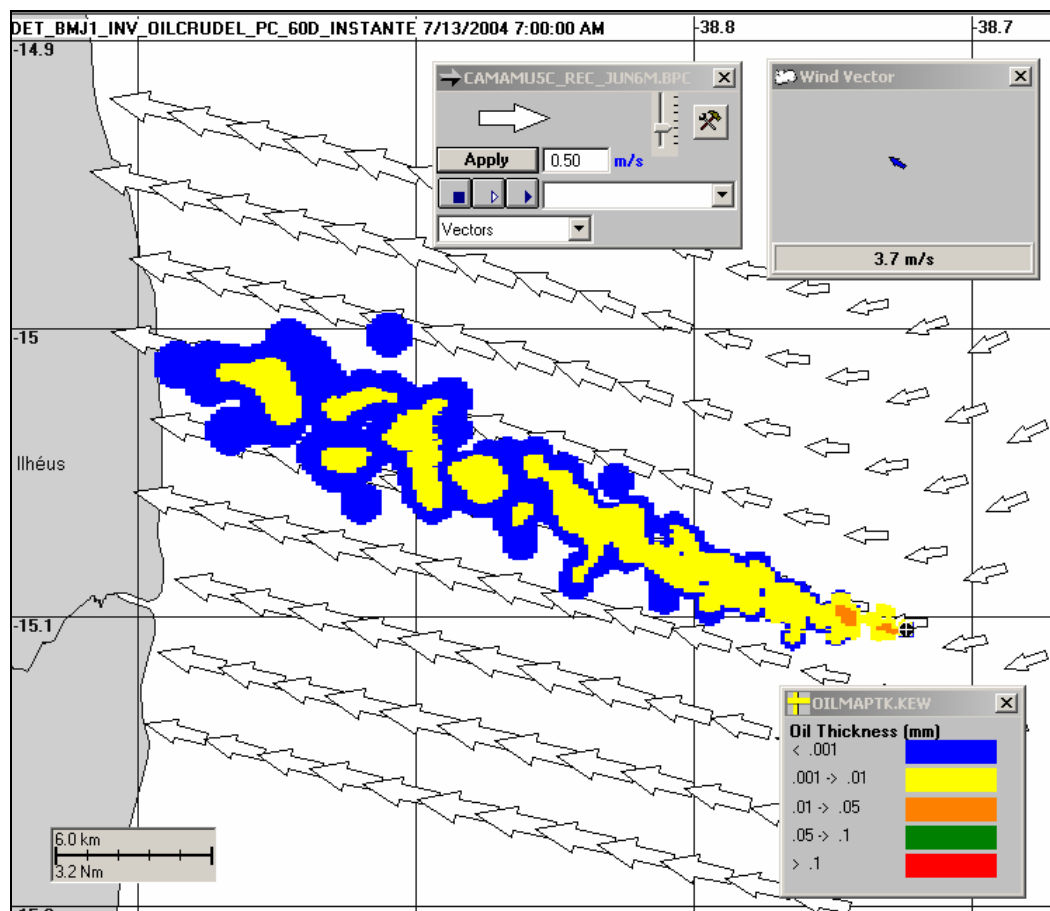


Figura V.3-12 - Cenário DET_BMJ_4_VERT_SW_INV_BAS11_PC_60D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação (14 horas).

VI CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresenta os resultados da modelagem de transporte e dispersão de óleo no mar com objetivo de auxiliar a PETROBRAS nos estudos ambientais (RCA) das atividades de perfuração marítima no Bloco BM-J-1, na Bacia de Jequitinhonha.

Foram conduzidas simulações probabilísticas para determinar contornos de probabilidade de óleo diesel marítimo e óleo cru atingirem a área de estudo a partir de três classes de derrame, como definido na Resolução CONAMA 398/08: pequeno (8 m^3), médio (200 m^3) e pior caso. Os volumes de pior caso considerados neste estudo foram de $2.170,23 \text{ m}^3$ (derrame instantâneo) para óleo diesel marítimo, correspondente à hipótese acidental de ruptura dos tanques da unidade marítima, e de 7.500 m^3 de óleo cru (derrame durante 30 dias), correspondente à perda de controle do poço (*blowout*) de maior surgência. A partir dos resultados dessas simulações probabilísticas foram selecionados os cenários determinísticos críticos para condições de verão e inverno, utilizando como critério o menor de toque de óleo na costa.

O critério de parada adotado nas simulações foi o tempo de simulação completa 30 dias após o final do vazamento. Ou seja, as simulações no caso de *blowout* de poço foram de 60 dias, e nos casos de derrames instantâneos a duração das simulações foi de 30 dias.

Os resultados das simulações probabilísticas mostraram que, em todos os cenários simulados, há probabilidade de toque na costa. Para o período de verão, a maior extensão da linha de costa com probabilidade de toque foi de, aproximadamente, 557 km; e de 328 km para o inverno. Os menores tempos de toque de óleo na costa forma de 14 horas no verão e no inverno, sendo que no verão o primeiro toque ocorreu no Município de Una (BA), e no inverno no município de Ilhéus (BA), independente do tipo de óleo simulado. Observa-se também, que nos cenários de verão ocorreu probabilidade de toque de óleo no Arquipélago dos Abrolhos. Estas probabilidades de toque no arquipélago em todos os cenários simulados não ultrapassam 1% e apresentam sempre valores baixos de volume de óleo por metro de costa, em geral, os valores mais baixos dentro de cada cenário simulado.

Os resultados dos cenários determinísticos críticos mostraram que as taxas de evaporação para o óleo diesel marítimo variaram de 70 a 80%, e para o óleo cru de 30 a 40%. O volume de óleo que chega à costa ao final da simulação foi de cerca de 512 m³ para diesel e 5.928 m³ para óleo cru.

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

VII BIBLIOGRAFIA

ASA (Applied Science Associates South America), 2004. Estudo Integrado de Caracterização Ambiental e Modelagem Matemática da Dinâmica e de Derrame de Óleo na Bacia de Camamu-Almada para a Atividade de Perfuração do Bloco BM-CAL-5 com a Inserção de Dados Atualizados. Relatório Técnico, abril de 2004. 173pp.

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

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

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

HASTENRATH, S., 1984. Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic. *Mon. Wea. Rev.*, 112, 1097-1107p.

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.

LUMPKIN, R.; GARRAFFO, Z., 2005. Evaluating the Decomposition of Tropical Atlantic Drifter Observations. **J. Atmos. Oceanic Techn.** | 22, 1403-1415.

MOURA, A. D., & J. SHUKLA, 1981. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **J. Atmos. Sci.**, 38, 2653-2675p.

PETROBRAS, 2004. Dados meteo-oceanográficos coletados no Bloco BMJ-1 da Bacia de Jequitinhonha, BA. CENPES/PDP/MC. CT/MC – 089/2004. SAST – 705567. Rio de Janeiro, julho de 2004.

RAO, V.B.; LIMA, M. & FRANCHITO, S.H., 1993. Seasonal and Interannual Variations of Rainfall over Eastern Northeast Brazil. **Journal Of Climate**, 6, 1754-1763p.

RODRIGUES, R. R., L. M. ROTHESTEIN, & M. WIMBUSH., 2007. Seasonal Variability of the South Equatorial Current Bifurcation in the Atlantic Ocean: A Numerical Study. **Journal of Physical Oceanography**, 37, 16-30.

SCHOTT FA & R MOLINARI, 2002: Tropical Atlantic Workshop, 19-22 August 2002, Ifm Kiel, Germany. *CLIVAR Exchanges*, 26.

SCHOTT FA, DENGLER M., ZANTOPP R., STRAMMA L., FISCHER J. & P. BRANDT, 2005. The Shallow and Deep Western Boundary Circulation of the South Atlantic at 5°-11°S, **Journal of Physical Oceanography**, 35, 2031-2053.

STRAMMA L. & F SCHOTT, 1996. Western equatorial circulation and interhemispheric exchange. In: Krauss, W. (Ed.), **The Warmwatersphere of the North Atlantic Ocean**. Gebr. Borntraeger, Berlin, Stuttgart, pp. 195-227.

STRAMMA L. & M. ENGLAND, 1999. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, no C9, 20863-20883.

VIII EQUIPE TÉCNICA

Equipe da Empresa Consultora Applied Science Consultoria Ltda.

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

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

Profissional	Erika Naomi Tominaga
Empresa	ASA Consultoria Ltda
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	980855
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	TODOS
Assinatura	

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

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

Profissional	Pedro Fabiano de Moraes Sarmiento
Empresa	ASA Consultoria
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	1800416
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	IV a VII
Assinatura	_____

ANEXO A - DESCRIÇÃO DO PRINCETON OCEAN MODEL

O modelo *Princeton Ocean Model* (POM) foi desenvolvido por Blumberg & Mellor (1987) e o código fonte desse modelo é de domínio público, disponível *on-line*¹¹.

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

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

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

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.

¹¹ <http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom>

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

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

A.1 EQUAÇÕES BÁSICAS DO POM

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

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

Equação da continuidade:

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

Equação de Reynolds para conservação da quantidade de movimento:

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

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

$$\rho g = -\frac{\partial P}{\partial z} \quad (\text{A.1-4})$$

Conservação de Temperatura Potencial:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} + U \frac{\partial \Theta}{\partial x} + V \frac{\partial \Theta}{\partial y} + W \frac{\partial \Theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_{(H)} \quad (\text{A.1-5})$$

Conservação de Salinidade:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + U \frac{\partial S}{\partial x} + V \frac{\partial S}{\partial y} + W \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_S \quad (\text{A.1-6})$$

Equação de Estado:

$$\rho = \rho(S, \Theta, P) \quad (\text{A.1-7})$$

Equação da Energia Cinética Turbulenta:

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2}{\partial t} + U \frac{\partial q^2}{\partial x} + V \frac{\partial q^2}{\partial y} + W \frac{\partial q^2}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_q \frac{\partial q^2}{\partial z} \right) + 2K_M \left[\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] \\ + \frac{2g}{\rho_o} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{2q^3}{B_1 l} + F_{q^2} \end{aligned} \quad (\text{A.1-8})$$

Equação da Turbulência em Macro Escala:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(q^2 l) + U \frac{\partial}{\partial x}(q^2 l) + V \frac{\partial}{\partial y}(q^2 l) + W \frac{\partial}{\partial z}(2q^2 l) = \frac{\partial}{\partial z} \left[K_q \frac{\partial}{\partial z}(q^2 l) \right] \\ + l E_1 K_M \left[\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{l E_1 g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{q^3}{B_1} \tilde{W} + F_{q^2 l} \end{aligned} \quad (\text{A.1-9})$$

sendo,

$$F_{q^2, q^2 l} = \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial q^2, q^2 l}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial q^2, q^2 l}{\partial y} \right) \quad (\text{A.1-10})$$

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

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

onde,

 U, V, W = componentes do vetor velocidade (m/s); f = parâmetro de Coriolis (s^{-1}); ρ_0 = densidade de referência (kg/m^3); ρ = densidade *in situ* (kg/m^3); P = pressão (N/m^2); K_M = coeficiente cinemático vertical de viscosidade turbulenta (m^2/s); K_H = coeficiente cinemático vertical de difusão turbulenta de calor e sal (m^2/s); g = aceleração da gravidade (m/s^2); Θ = temperatura potencial ($^{\circ}C$); S = salinidade (PSU); A_M = coeficiente cinemático horizontal de viscosidade turbulenta (m^2/s); A_H = coeficiente cinemático horizontal de difusão turbulenta de calor sal (m^2/s);

- F_H, F_S = parametrização (em termos de processos de mistura horizontal) para processos de pequena escala não resolvidos diretamente pela grade do modelo.
- $q^2/2$ = energia cinética turbulenta;
- l = escala característica de comprimento para o movimento turbulento;
- \tilde{W} = função proximidade-do-contorno;
- k = constante de von Karman ($k=0,4$);
- F_{q^2, q^2l} = termos horizontais de mistura para q^2 e q^2l .

A.2 CONDIÇÕES DE CONTORNO ADOTADAS

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

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

Nas componentes perpendiculares à fronteira são aplicadas condições radiacionais em função da elevação, do tipo $H\bar{U} \pm C_e \eta = BC^2$, onde $C_e = \sqrt{gH}$ é a

velocidade de fase da onda que chega ao sistema, η é a elevação da superfície livre e B é um coeficiente empírico. Nos casos da temperatura e da salinidade, disponibiliza-se esquema que permita advecção através da fronteira, condição esta descrita por:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \text{ (condição análoga aplicada à salinidade)} \quad (\text{A.2-1})$$

A.3 BIBLIOGRAFIA

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

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

ANEXO B – DESCRIÇÃO DO MODELO OILMAP

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

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

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

Para elaboração de cenários de deriva para acidentes com petróleo deve ser definido um conjunto de duas grades computacionais, sobrepostas ao mapa digital da área de estudo. Uma das grades, compreendendo apenas a região de água, define o campo de circulação, podendo neste caso ser baseada em resultados de um modelo hidrodinâmico implementado na região de estudo. A outra grade (*land-water*) define quais as células ou blocos correspondem à área

de terra e quais à área de água, com a interface definida pela linha de costa. A linha de costa é representada por uma série de blocos que limita a extensão em que a mancha de óleo pode se movimentar em uma determinada direção, dependendo do tipo de costa (e.g. manguezais, costões rochosos, praias).

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

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

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

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

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

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

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

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

B.1 FORMULAÇÃO DO MODELO OILMAP

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

No OILMAP, a mancha de óleo é considerada como um conjunto de partículas lagrangianas contendo, cada uma delas, massa conhecida. O vetor

posição (\vec{X}_t) de uma dada partícula, num determinado instante t , é definido como:

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

onde

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

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

$$\vec{U}_{oil} = \vec{U}_w + \vec{U}_t + \vec{U}_r + \alpha \vec{U}_e + \beta \vec{U}_p \quad (\text{B.1-2})$$

onde

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

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

$$u_{wc} = C_1 u_w \quad (\text{B.1-3})$$

$$v_{wc} = C_1 v_w \quad (\text{B.1-4})$$

onde

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

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

C_1 = fator de deriva (%).

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

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

$$u_{wd} = u_{wc} \cos \theta + v_{wc} \operatorname{sen} \theta \quad (\text{B.1-5})$$

$$v_{wd} = u_{wc} \operatorname{sen} \theta + v_{wc} \cos \theta \quad (\text{B.1-6})$$

onde

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

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

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

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

$$u_{dd} = \gamma \sqrt{\frac{6D_x}{\Delta t}} \quad (\text{B.1-7})$$

$$v_{dd} = \gamma \sqrt{\frac{6D_x}{\Delta t}} \quad (\text{B.1-8})$$

onde

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

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

Δt = passo de tempo (s);

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

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

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

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

onde

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

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

V_m = volume da superfície da mancha (m³);

t = tempo (s).

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

A taxa de mudança da área superficial de uma única partícula (m²/s) é dada por:

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

onde

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

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

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

R_s = raio de uma partícula (m);

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

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

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

onde

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

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

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

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

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

onde

T_0 = ponto de ebulição inicial (K);

T_G = gradiente da curva de destilação modificada;

T = temperatura do ambiente (K);

A, B = constantes adimensionais;

θ = exposição à evaporação.

A exposição à evaporação, θ , é definida por:

$$\theta = \left(\frac{K_m A_t}{V_0} \right) \quad (\text{B.1-13})$$

onde

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

A = área da mancha (m²);

t = tempo (s);

V_0 = volume do derrame de óleo (m³).

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

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

$$T_B = T_0 + T_G F_v \quad (\text{B.1-14})$$

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

$$H = PV / RT \quad (\text{B.1-15})$$

onde

P = pressão do vapor do óleo (atm);

V = volume do óleo (m³);

R = constante universal dos gases;

T = temperatura ambiente (K).

H é comumente fornecido em unidades de atm - m³/mol, devendo ser dividido por RT para adimensionalizá-lo. A relação entre H e T_B é:

$$\ln H = A - B \left(\frac{T_B}{T} \right) \quad (\text{B.1-16})$$

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

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

Delvigne & Sweeney (1988) desenvolveram uma relação para a taxa de entranhamento do óleo como uma função do tamanho da partícula de óleo, Q_d (kg/m²s), expressa como:

$$Q_d = C * D_d^{0,57} S F d^{0,7} \Delta d \quad (\text{B.1-17})$$

onde

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

D_d = energia dissipada da arrebentação da onda por unidade de área superficial (J/m²);

S = fração da superfície do mar coberta pelo óleo;

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

d = diâmetro da partícula de óleo (m);

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

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

$$C^* = \exp(a \ln(\mu / \rho) + b) \quad (\text{B.1-18})$$

onde

μ = viscosidade do óleo (cP);

ρ = densidade do óleo (g/cm³);

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

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

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

$$d_{50} = 1818(E)^{-0,5} \left(\frac{\mu}{\rho_0} \right)^{0,34} \quad (\text{B.1-19})$$

onde

E = taxa de dissipação da energia da onda por unidade de volume (J/m³s), com 10³ a 10⁴ para ondas em zona de arrebentação, 1 a 10 para camada superficial, 10⁻¹ a 1 para estuários e 10⁻⁴ a 10⁻² para oceano profundo;

μ = viscosidade do óleo (cP);

ρ = densidade do óleo (g/cm³).

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

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

$$d_{\max} = 2,0d_{50} \quad (\text{B.1-21})$$

A energia dissipada da onda, D_d (J/m²), é:

$$D_d = 3,4 \times 10^{-3} \rho_w g H^2 \quad (\text{B.1-22})$$

onde

ρ_w = densidade da água (kg/m^3);

g = aceleração da gravidade (m/s^2);

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

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

$$F = 0,032(U_w - U_t)/T_w \quad (\text{B.1-23})$$

onde

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

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

T_w = período de onda significativo (s).

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

$$M_e = A dt \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} Q_d dd \quad (\text{B.1-24})$$

onde

A = área superficial da mancha (m^2);

dt = passo de tempo (s);

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

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

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

onde

H_b = altura da quebra da onda (m).

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

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

onde

- d_i = diâmetro da gotícula (m);
- g = constante gravitacional (m/s^2);
- ρ_0 = densidade do óleo (kg/m^3);
- ρ_w = densidade da água (kg/m^3);
- ν_w = viscosidade da água (m^2/s).

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

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

$$Z_i = \max\left(\frac{D_v}{W_i}, Z_m\right) \quad (\text{B.1-27})$$

onde

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

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

$$D_v = 0,0015 W_{10} \quad (\text{B.1-28})$$

onde

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

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

$$R_i = \frac{W_i dt}{Z_i} \quad (\text{B.1-29})$$

onde

dt = passo de tempo (s).

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

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

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

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

onde

U_w = velocidade do vento (m/s);

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

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

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

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

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

onde

- μ_0 = viscosidade inicial do óleo (cP);
 F_{wc} = fração máxima de água no óleo;
 C_0 = constante de emulsificação (~0,65).

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

$$\mu = \mu_0 \exp(C_4 F_v) \quad (\text{B.1-32})$$

onde

- μ_0 = viscosidade inicial do óleo (cP);
 C_4 = constante (1 para óleo leve e 10 para óleo pesado);
 F_v = fração evaporada da superfície da mancha.

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

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

- A fração de massa disponível para deposição na linha de costa, F_{sh} , é:

$$F_{sh} = \frac{A_{lg}}{A_s} \quad (\text{B.1-33})$$

onde

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

A_s = área de uma partícula na superfície.

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

$$M_{h,i} = \rho_0 t_i W_i L_{gi} \quad (\text{B.1-34})$$

onde

i = parâmetro do tipo de costa;

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

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

W_i = largura do elemento de grade atingido pelo óleo;

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

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

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

onde

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

t = tempo (dias);

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

B.2 DADOS DE ENTRADA

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

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

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

B.3 BIBLIOGRAFIA

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

- ASA (Applied Science Associates South America), 2003b. Cenários de Acidentes com Petróleo no Terminal de Paranaguá (PR). Relatório Técnico (janeiro de 2003). 51pp.
- ASA (Applied Science Associates South America), 2003c. Cenários de Acidentes com Petróleo na Refinaria de Presidente Bernardes – RPBC (SP). Relatório Técnico (dezembro de 2003). 47pp.
- ASA (Applied Science Associates South America), 2003d. Estudos de Deriva para Acidentes com Produtos Derivados de Petróleo no Terminal de São Luís (MA). Relatório Técnico (dezembro de 2003). 196pp.
- ASA (Applied Science Associates South America), 2004. Estudos de Deriva para Acidentes com Produtos Derivados de Petróleo na Base Vila do Conde (PA). Relatório Técnico (janeiro de 2004). 207pp.
- ASA (Applied Science Associates South America), 2005a. Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para o Bloco BM-CAL-6. Relatório Técnico, Revisão 01 (outubro de 2005). 212pp.
- ASA (Applied Science Associates South America), 2005b. Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para o FPSO Capixaba, Campo de Golfinho, Bacia do Espírito Santo. Relatório Técnico (abril de 2005). 107pp.
- BEAR, J. & A. VERRUIJT, 1987. Modeling groundwater flow and pollution with computer programs for sample cases. Kluwer Academic Publishers.
- DELVIGNE G.A.L. & C.E. SWEENEY, 1988. Natural dispersion of oil. **Oil & Chemical Pollution**, 4 (1988): p. 281-310.
- DELVIGNE G.A.L. & L.J.M. HULSEN, 1994. Simplified laboratory measurement of oil dispersion coefficient – Application in computations of natural oil dispersion. Proceedings of the Seventeenth Arctic and Marine Oil Spill Program, Technical Seminar, June 8-10, 1994, Vancouver, BC Canada, pp.173-187.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- PEREIRA J.E.; YASSUDA, E.A. & CAMPOS, E. 2005. Development of an operational metocean modelling system, with applications in South America. In: 9th International Conference on Estuarine and Coastal Modelling, 2005. Charleston, SC, USA.
- REED M., E. GUNDLACH, & T. KANA, 1989. A coastal zone oil spill model: development and sensitivity studies, **Oil and Chemical Pollution**, Vol. 5, p. 411-449.
- SPAULDING, M. L., HOWLETT, E., ANDERSON, E. & JAYKO, K., 1992a. OILMAP a global approach to spill modeling. 15th Arctic and Marine Oil Spill Program, Technical Seminar, June 9-11, 1992, Edmonton, Alberta, Canada, p. 15-21.
- SPAULDING M.L., E. HOWLETT, E. ANDERSON & K. JAYKO, 1992b. Oil spill software with a shell approach. **Sea Technology**, April 1992, p. 33-40.
- STIVER W. & D. MACKAY, 1984. Evaporation rate of spills of hydrocarbons and petroleum mixtures. **Environmental Science and Technology**, 18:834-840.
- WHITICAR S., M. BOBRA, M. FINGAS, P. JOKUTY, P. LIUZZO, S. CALLAGHAN, S. ACKERMAN & J. CAO, 1992. A catalogue of crude oil and oil product properties 1992 (edition), Report #EE-144, Environment Canada, Ottawa, Canada.

