Terminal de Contêineres de Paranaguá
– TCP –

RELATÓRIO DE MODELAGEM DE DISPERSÃO DE ÓLEO – TERMINAL DE CONTÊINERES DE PARANAGUÁ S/A

ACQUA DINAMICA
MODELAGEM E ANÁLISE DE RISCO AMBIENTAL

TCP
Terminal de Contêineres de Paranaguá

Agosto de 2013

SUMÁRIO

1. EQUIPE TÉCNICA 1-10
2. INTRODUÇÃO 2-11
3. ÁREA DE ESTUDO 3-11
4. METODOLOGIA 4-13
4.1. MODELAGEM NUMÉRICA HIDRODINÂMICA 4-13
4.2. Dados de Entrada do Modelo 4-16
4.3. Validação do Modelo Numérico 4-23
4.4. MODELAGEM NUMÉRICA DISPERSÃO DE ÓLEO 4-26
6. RESULTADOS DA MODELAGEM DE DISPERSÃO DE ÓLEO 6-34
6.1. SIMULAÇÕES PROBABILISTICAS 6-34
6.2. SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS 6-41
7. CONCLUSÕES DA MODELAGEM DE DISPERSÃO DE ÓLEO 7-55
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 8-57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização do Ponto de Risco no Complexo Estuarino de Paranaguá. .3-13
Figura 2. Grade numérica local para executar o modelo hidrodinâmico na baía de Paranaguá. 4-15
Figura 3. Batimetria interpolada na grade numérica local do modelo hidrodinâmico. 4-16
Figura 4. Localização dos principais afluentes que desaguam na baía de Paranaguá. 4-17
Figura 5. Rosa direcional dos ventos do NCEP para o ano de 2012, na região de Paranaguá. As cores indicam a intensidade do vento (m/s) enquanto que os círculos representam a porcentagem de ocorrência. 4-19
Figura 6. Rosa direcional dos ventos do NCEP para o verão do ano de 2012, na região de Paranaguá. As cores indicam a intensidade do vento (m/s) enquanto que os círculos representam a porcentagem de ocorrência. 4-20
Figura 7. Rosa direcional dos ventos do NCEP para o inverno do ano de 2012, na região de Paranaguá. As cores indicam a intensidade do vento (m/s) enquanto que os círculos representam a porcentagem de ocorrência. 4-21
Figura 8. Tabela de componentes harmônicas de maré da FEMAR para a estação do Porto de Paranaguá, Paranaguá, PR. 4-23
Figura 9. Localização de instalação do ADCP próximo ao Terminal de Contêineres de Paranaguá - TCP. 4-24
Figura 10. Perfilador de correntes acústico AWAC®. 4-24
Figura 11. Comparação dos dados de corrente da componente x (m/s) medidos pelo ADCP e dados modelados, para a área de estudo. 4-25
Figura 12. Comparação dos dados de corrente da componente y (m/s) medidos pelo ADCP e dados modelados, para a área de estudo. 4-25
Figura 13. Processos utilizados na modelagem do comportamento dos poluentes no OSCAR (Modificado de REED, 2000). 4-27
Figura 14. Velocidades máximas de maré enchente em quadratura, para a o Complexo Estuarino de Paranaguá. 4-29
Figura 15. Velocidades de corrente em situação de quadratura enchente para a região do TCP. 4-29

Figura 16. Velocidades máximas de maré enchente em sizígia, para a o Complexo Estuarino de Paranaguá..... 4-30
Figura 17. Velocidades de corrente em situação de sizígia enchente para a região do TCP. 4-30
Figura 18. Malha numérica utilizada para a modelagem de dispersão de óleo.4-31
Figura 19. Contornos de probabilidade de óleo tipo bunker na água para um acidente ocorrendo durante o inverno no píer do TCP, com derrame de 8 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação. 6-35
Figura 20. Probabilidades de toque de óleo na costa para um acidente com óleo tipo bunker ocorrendo durante o inverno no píer do TCP, com derrame de 8 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação. 6-36
Figura 21. Contornos de probabilidade de óleo tipo bunker na água para um acidente ocorrendo durante o inverno no píer do TCP, com derrame de 200 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação. 6-36
Figura 22. Probabilidades de toque de óleo na costa para um acidente com óleo tipo bunker ocorrendo durante o inverno no píer do TCP, com derrame de 200 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... 6-37
Figura 23. Contornos de probabilidade de óleo tipo bunker na água para um acidente ocorrendo durante o inverno no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação. 6-37
Figura 24. Probabilidades de toque de óleo na costa para um acidente com óleo tipo bunker ocorrendo durante o inverno no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... 6-38
Figura 25. Contornos de probabilidade de óleo tipo bunker na água para um acidente ocorrendo durante o verão no píer do TCP, com derrame de 8 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação. 6-38
Figura 26. Probabilidades de toque de óleo na costa para um acidente com óleo tipo bunker ocorrendo durante o verão no píer do TCP, com derrame de 8 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação. 6-39
Figura 27. Contornos de probabilidade de óleo tipo bunker na água para um acidente ocorrendo durante o verão no píer do TCP, com derrame de 200 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação. 6-39

Figura 28. Probabilidades de toque de óleo na costa para um acidente com óleo tipo bunker ocorrendo durante o verão no píer do TCP, com derrame de 200 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... 6-40
Figura 29. Contornos de probabilidade de óleo tipo bunker na água para um acidente ocorrendo durante o verão no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... 6-40
Figura 30. Probabilidades de toque de óleo na costa para um acidente com óleo tipo bunker ocorrendo durante o verão no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... 6-41
Figura 31. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré baixamar de quadratura e vento NE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... 6-42
Figura 32. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré enchente de quadratura e vento NE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... 6-43
Figura 33. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré preamar de quadratura e vento NE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... 6-43
Figura 34. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré vazante de quadratura e vento NE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... 6-44
Figura 35. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré baixamar de quadratura e vento E no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... 6-44
Figura 36. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré enchente de quadratura e vento E no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... 6-45
Figura 37. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré preamar de quadratura e vento E no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... 6-45
Figura 38. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré vazante de quadratura e vento E no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... 6-46

Figura 39. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré baixamar de quadratura e vento SE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... 6-46
Figura 40. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré enchente de quadratura e vento SE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... 6-47
Figura 41. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré preamar de quadratura e vento SE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... 6-47
Figura 42. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré vazante de quadratura e vento SE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... 6-48
Figura 59. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré baixamar de sizígia e vento NE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação. 6-49
Figura 60. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré enchente de sizígia e vento NE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação. 6-49
Figura 61. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré preamar de sizígia e vento NE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação. 6-50
Figura 62. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré vazante de sizígia e vento NE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação. 6-50
Figura 63. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré baixamar de sizígia e vento NE no píer do TCP, com derrame de 14.100 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... **Erro! Indicador não definido.**
Figura 64. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré enchente de sizígia e vento NE no píer do TCP, com derrame de 14.100 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... **Erro! Indicador não definido.**
Figura 65. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré preamar de sizígia e vento NE no píer do TCP, com

derrame de 14.100 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... **Erro! Indicador não definido.**
Figura 66. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré vazante de sizígia e vento NE no píer do TCP, com derrame de 14.100 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... **Erro! Indicador não definido.**
Figura 67. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré baixamar de sizígia e vento E no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação. 6-51
Figura 68. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré enchente de sizígia e vento E no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação. 6-51
Figura 69. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré preamar de sizígia e vento E no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação. 6-52
Figura 70. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré vazante de sizígia e vento E no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação. 6-52
Figura 71. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré baixamar de sizígia e vento E no píer do TCP, com derrame de 14.100 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... **Erro! Indicador não definido.**
Figura 72. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré enchente de sizígia e vento E no píer do TCP, com derrame de 14.100 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... **Erro! Indicador não definido.**
Figura 73. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré preamar de sizígia e vento E no píer do TCP, com derrame de 14.100 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... **Erro! Indicador não definido.**
Figura 74. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré vazante de sizígia e vento E no píer do TCP, com derrame de 14.100 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... **Erro! Indicador não definido.**

Figura 75. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré baixamar de sizígia e vento SE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação. 6-53
Figura 76. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré enchente de sizígia e vento SE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação. 6-53
Figura 77. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré preamar de sizígia e vento SE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação. 6-54
Figura 78. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré vazante de sizígia e vento SE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação. 6-54
Figura 79. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré baixamar de sizígia e vento SE no píer do TCP, com derrame de 14.100 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... **Erro! Indicador não definido.**
Figura 80. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré enchente de sizígia e vento SE no píer do TCP, com derrame de 14.100 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... **Erro! Indicador não definido.**
Figura 81. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré preamar de sizígia e vento SE no píer do TCP, com derrame de 14.100 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... **Erro! Indicador não definido.**
Figura 82. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré vazante de sizígia e vento SE no píer do TCP, com derrame de 14.100 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação..... **Erro! Indicador não definido.**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Vazão dos afluentes da baía de Paranaguá utilizados neste estudo (MANTOVANELLI, 1999). 4-17
Tabela 2. Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (Vel.) e direção (Dir) dos ventos do NCEP para o ano de 2012, no período de verão. 4-22
Tabela 3. Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (Vel.) e direção (Dir) dos ventos do NCEP para o ano de 2012, no período de inverno..... 4-22
Tabela 4. Cenários utilizados nas simulações probabilísticas. 4-32
Tabela 5. Cenários utilizados nas simulações determinísticas. 4-33
Tabela 6. Resultados das simulações probabilísticas (extensão da costa com probabilidade de toque e área superficial com probabilidade de ocorrência de óleo na água). 6-34

1. EQUIPE TÉCNICA

Nome	Formação	Área de atuação	Registro IBAMA	Registro Profissional
Fernando Luiz Diehl, MSc.	Oceanógrafo	Coordenador Geral	198583	AOCEANO 104
João Thadeu de Menezes, Dr.	Oceanógrafo	Coordenador Técnico Modelagem Numérica Ambiental	282673	AOCEANO 782
Bruna Calloni, BSc.	Oceanógrafa	Modelagem Numérica Ambiental	5562702	AOCEANO 2005
Marina Garcia Pacheco, BSc.	Oceanógrafa	Modelagem Numérica Ambiental	5347429	AOCEANO 1358
Thelma Luiza Scolaro, BSc.	Oceanógrafa	Modelagem Numérica Ambiental	5000357	AOCEANO 1906

2. INTRODUÇÃO

O Presente relatório tem por finalidade subsidiar a empresa ACQUAPLAN Tecnologia e Consultoria Ambiental Ltda. na elaboração do Plano de Emergência Individual (PEI) do Terminal de Contêineres de Paranaguá - TCP. Assim, apresentam-se os resultados dos estudos referentes às simulações numéricas para a dispersão de óleo, a partir de potenciais derrames acidentais. Neste estudo será conduzida uma simulação de dispersão de óleo para um navio tipo com 368 metros , sendo que serão considerados os cenários de 8 m^3, 200 m^3, e 7.050 m^3 como estabelecidos pela Resolução CONAMA 398/08.

As simulações foram conduzidas através do modelo numérico Oil Spill Contingency And Response – OSCAR desenvolvido pela empresa SINTEF, empresa com sede na Noruega.

A caracterização dos padrões de circulação para o Complexo Estuarino de Paranaguá – CEP foi obtida a partir do modelo numérico Delft3D implementado pela ACQUADINÂMICA para a região de estudo. O campo de vento utilizado para os processamentos do modelo hidrodinâmico e de deriva de óleo foi determinado a partir de campos analisados do modelo global NCEP/NCAR1.

3. ÁREA DE ESTUDO

A baía de Paranaguá, localizada na Bacia Litorânea do Paraná, apresenta geometria complexa e grande diversidade de ambientes, tendo sido classificada por Angulo (1992) como um complexo estuarino. O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) divide-se em dois setores principais, denominados: baía de Paranaguá propriamente dita, com 56 km no eixo E-W; e a baía das Laranjeiras, com 30 km no eixo N-S, compreendendo aproximadamente 550 km^2 de área submersa (SOARES, 1990) e uma superfície líquida de 612 km2 (UFPR, 2002 *apud* ODRESKI, 2002), com volume estimado de 2x109 m^3 (KNOPPERS *et al.,* 1987). Os setores N-S e E-W, por sua vez, compartimentam-se em diversos

segmentos menores, originando um extenso litoral de águas protegidas, onde deságuam diversos rios e canais de maré.

As conexões do CEP com o Oceano Atlântico ocorrem por meio de três canais principais. As ilhas do Mel e das Palmas e das Peças dividem a desembocadura em três canais, denominados Canal Norte, Canal Sueste e Canal da Galheta (Figura 1).

As características geomorfológicas e hidrográficas da região favorecem a navegação e contribuíram para a instalação de vários terminais portuários, que caracterizam as áreas dos Portos de Antonina, Pontal do Paraná e Paranaguá. Nas margens do CEP vivem, aproximadamente, 140.469 pessoas (IBGE, 2010), distribuídas entre os municípios de Guaraqueçaba, Antonina e Paranaguá, que basicamente se desenvolveram em função e ao redor dos portos, sendo Paranaguá o município com maior concentração urbana.

Devido à acentuada declividade das encostas da Serra do Mar, geralmente maior que 45º, os cursos d'água que deságuam no CEP comportam-se como verdadeiras torrentes, tornando elevado o potencial erosivo e o transporte de material em direção às baías (SOARES, 1990).

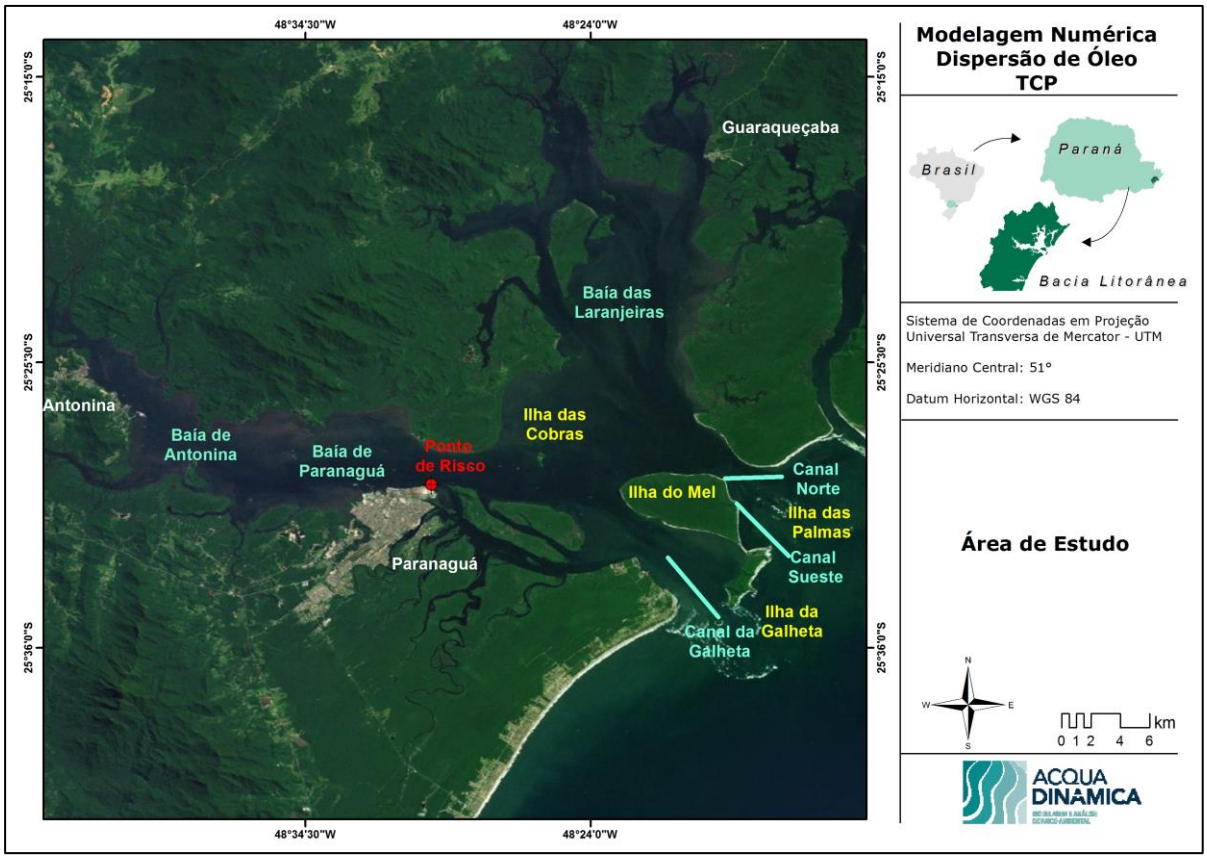

Figura 1. Localização do Ponto de Risco no Complexo Estuarino de Paranaguá.

4. METODOLOGIA

4.1. MODELAGEM NUMÉRICA HIDRODINÂMICA

O modelo numérico ***Delft3D***, desenvolvido pela ***Deltares®***, em Delft, Holanda foi utilizado para o desenvolvimento dos estudos de caracterização hidrodinâmica. O ***Delft3D*** constitui-se em um avançado sistema de modelos numéricos 2D/3D (duas e três dimensões) que inclui vários módulos que possibilitam a simulação de processos costeiros complexos, tais como geração e propagação de ondas, circulação hidrodinâmica, transporte de sedimentos e mudanças da morfologia litorânea (erosão e deposição sedimentar e variação da posição da linha de costa). Para esta modelagem foi utilizada a versão *open source* do aplicativo ***Delft3D***, que está disponível desde janeiro de 2011.

O modelo se baseia nas equações 3D de águas rasas, equações 3D de difusão-advecção para concentrações em suspensão (*suspended transport*), e ainda,

uma equação separada para transporte de fundo (*bed-load transport*). O modelo é capaz de integrar o transporte de sedimentos e as alterações do fundo, a cada passo de tempo de cálculo, e é recomendado para o desenvolvimento de estudos em ambientes costeiros. Isso porque possibilita o acoplamento direto com o modelo espectral de ondas *SWAN*, calculando também os processos de interação onda-corrente, além de incorporar uma técnica robusta de cálculo de células inundadas e secas (*flood and dry cells*). Vários outros processos, tais como fricção do vento e correntes de densidade, também são incluídos na formulação.

4.1.1. Modelo Hidrodinâmico Delft3D-Flow

O módulo hidrodinâmico ***Delft3D-Flow*** resolve um sistema de equações de águas rasas em modo bidimensional (ou integrado em vertical) e tridimensional. O sistema de equações consiste nas equações horizontais de movimento (*momentum*), na equação de continuidade, equações de transporte para constituintes conservativos, e um modelo de fechamento turbulento. A equação vertical de *momentum* é reduzida à relação de pressão hidrostática e as acelerações verticais são assumidas como sendo pequenas em relação à aceleração da gravidade. Isso faz com que o ***Delft3D-Flow*** seja adequado para a predição de fluxos em mares rasos, áreas costeiras, estuários, lagos, rios e lagoas.

O modelo numérico DELFT3D foi extensivamente calibrado e validado através de experimentos de campo e de laboratório e é considerado o "estado-da-arte" em modelagem hidrodinâmica.

4.1.2. Grades Numéricas e Batimetria

A criação das grades numéricas para a execução da modelagem de ondas, modelagem hidrodinâmica e modelagem morfológica, foram criadas nos módulos *RGFGRID e QUICKIN* disponíveis na "suíte" do ***Delft3D***. No primeiro módulo RGFGRID é possível serem criadas as grades numéricas, e no segundo módulo é possível realizar a interpolação destas grades com dos dados batimétricos. As grades numéricas utilizadas neste estudo podem ser observadas na Figura 2.

Quanto à batimetria, a fim de se construir as grades do modelo, foram utilizados dados digitalizados de cartas náuticas fornecidas pela DHN para o local, dados batimétricos cedidos pelo TCP (levantamento hidrográfico atualizados da baía de Paranaguá) e dados batimétricos de detalhe para a região adjacente ao TCP obtidos de levantamento hidrográfico realizado em 2012, que foram gerados com o propósito específico de desenvolvimento deste estudo. A batimetria interpolada na grade numérica local e na grade do modelo hidrodinâmico é apresentada na Figura 3.

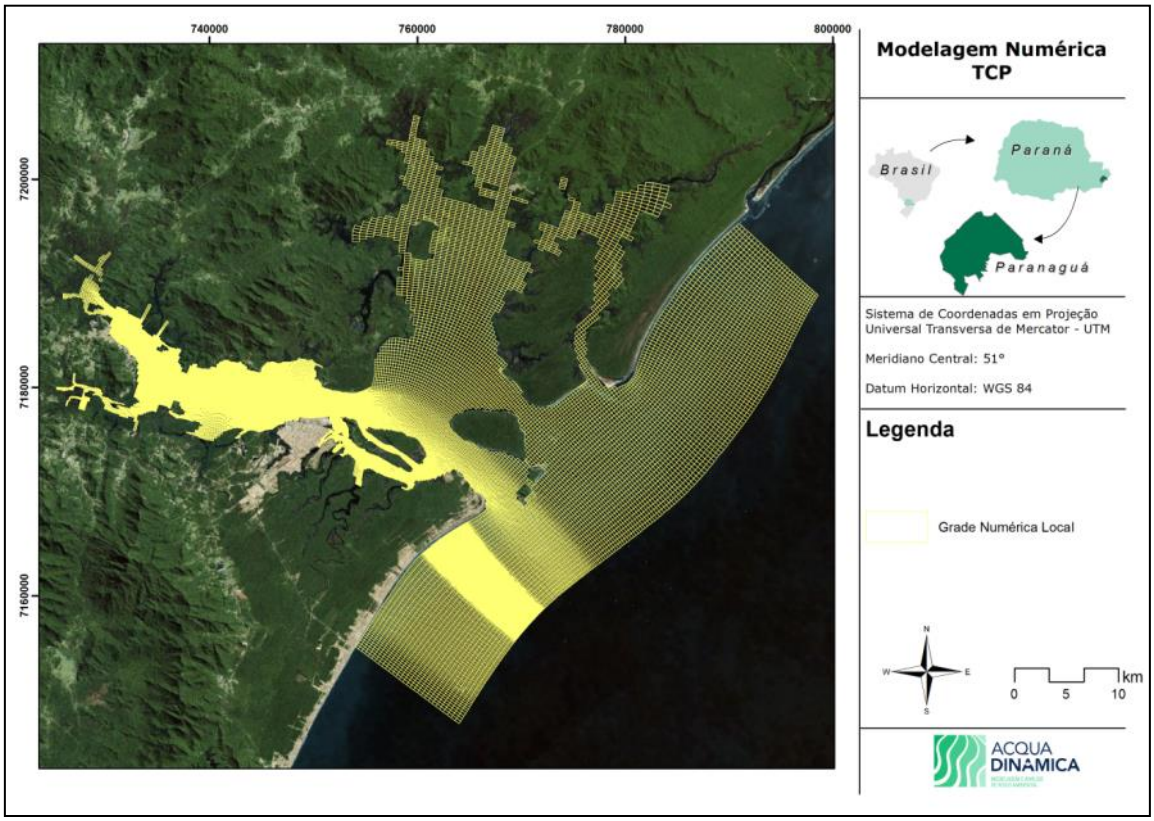

Figura 2. Grade numérica local para executar o modelo hidrodinâmico na baía de Paranaguá.

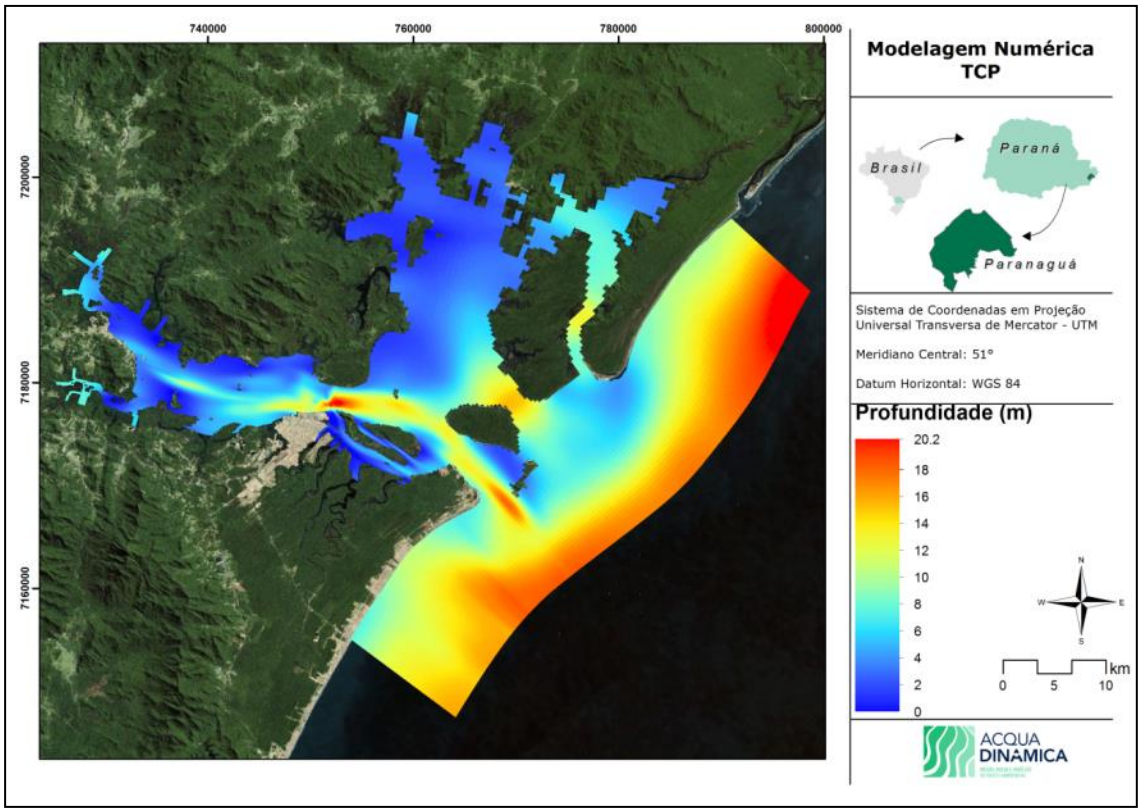

Figura 3. Batimetria interpolada na grade numérica local do modelo hidrodinâmico.

4.2. Dados de Entrada do Modelo

Para a execução do modelo, diversos dados de descarga fluvial, ventos, marés e ondas foram utilizados para que o mesmo pudesse ser calibrado, e desta forma pudesse representar de uma maneira mais fidedigna as condições ambientais presentes na área de estudo.

4.2.1. Descarga Fluvial de Afluentes

O Complexo Estuarino de Paranaguá – CPE recebe drenagem de uma área total de 3361 Km^2 (SOARES, 1995), entretanto, o fluxo médio de água doce é reduzido, de pouco mais de 150 m^3/s. As variações sazonais deste fluxo são basicamente controladas pelo regime pluviométrico (KNOPPERS *et al.*, 1987).

Os dados de descarga fluvial utilizados no presente estudo foram obtidos do trabalho de Mantovanelli (1999). Foram obtidos dados de vazão associados aos

seguintes afluentes que desaguam na baía de Paranaguá, quais sejam: rio Jacareí, rio Sagrado, rio Passa Sete, rio Pinto, rio Marumbi, rio Sapetanduva, rio Nhundiaquara, rio Moura, rio Xaxim, rio Nunes, rio Cacatu, rio Cachoira, rio Faisqueira, rio Cedro, rio Tagaçaba e rio Guaraqueçaba (Figura 4 e Tabela 1).

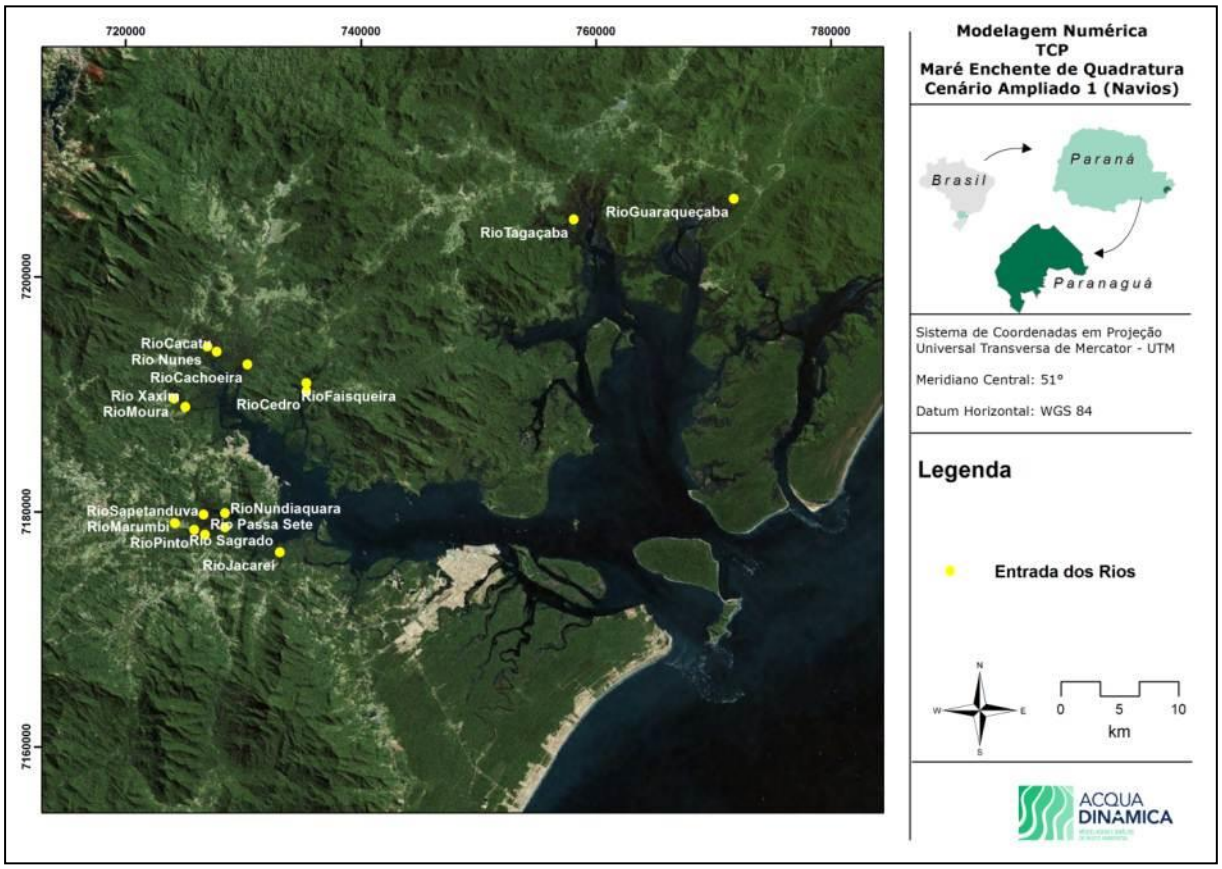

Figura 4. Localização dos principais afluentes que desaguam na baía de Paranaguá.

Tabela 1. Vazão dos afluentes da baía de Paranaguá utilizados neste estudo (MANTOVANELLI, 1999).

Estações	Vazão (m^3/s)
Rio Jacareí	3,34
Rio Sagrado	7,15
Rio Passa Sete	0,82
Rio Pinto	5,14
Rio Marumbi	12,46
Rio Sapetanduva	3,53
Rio Nhundiaquara	34,95
Rio Moura	0,48
Rio do Xaxim	2,07
Rio Nunes	2,62
Rio Cacatu	7,23
Rio Cachoira	0,65
Rio Faisqueira	5,82

Estações	Vazão (m^3/s)
Rio Cedro	2,92
Rio Tagaçaba	13,92
Rio Guaraqueçaba	8,87

4.2.2. Dados de Vento - NCEP/NCAR

Os dados de vento utilizados neste estudo foram extraídos e analisados para o período de 1° de janeiro a 31 de dezembro de 2012. Abaixo, são apresentadas as análises dos ventos obtidos a partir do modelo de reanálise disponibilizados por NCEP/NCAR. Para estas análises foi extraída uma série temporal na região de Paranaguá.

A Figura 5 apresenta a rosa direcional dos valores médios diários desses dados de vento. Observa-se que os ventos seguiram um padrão onde os mais frequentes foram provenientes dos quadrantes ESE e SSE, durante todo o ano.

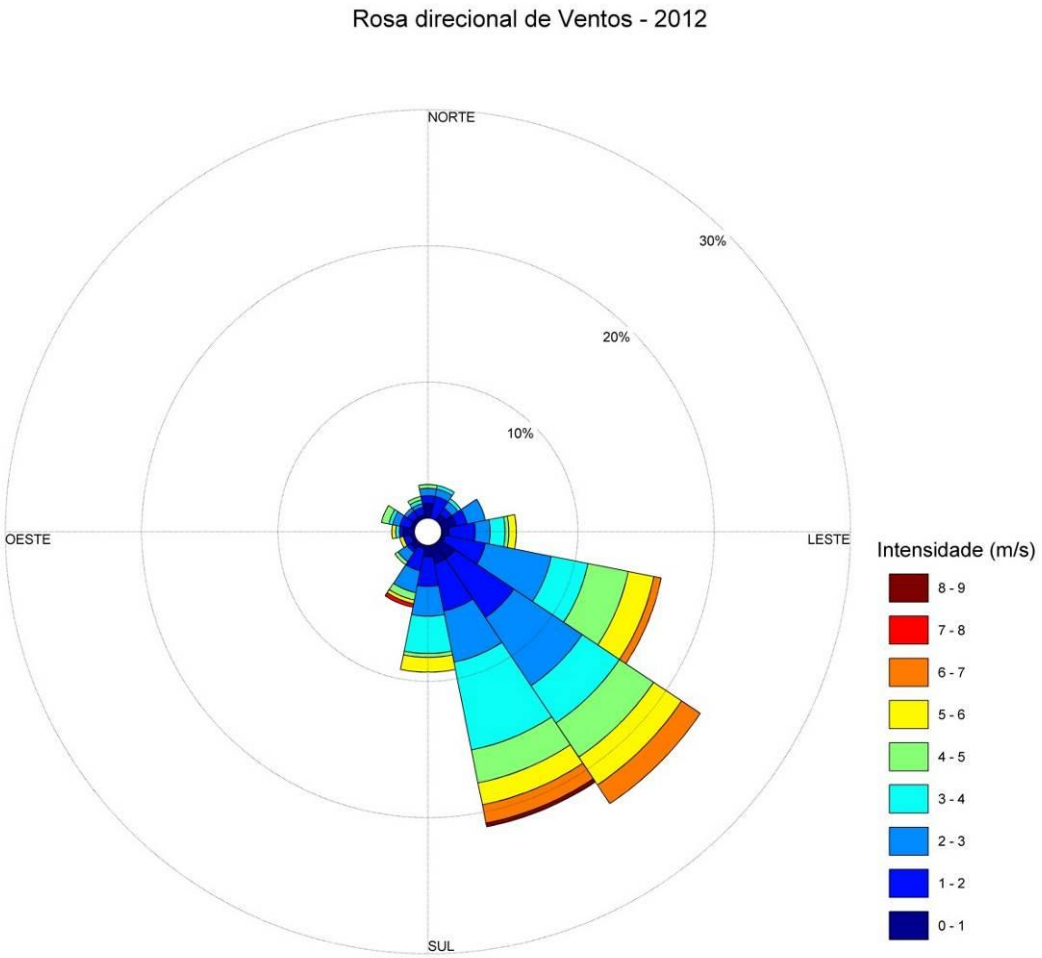

Figura 5. Rosa direcional dos ventos do NCEP para o ano de 2012, na região de Paranaguá. As cores indicam a intensidade do vento (m/s) enquanto que os círculos representam a porcentagem de ocorrência.

A Figura 6 e a Figura 7 apresentam as rosas direcionais dos dados de vento do NCEP, para os períodos de verão (janeiro a março) e inverno (julho a setembro), respectivamente. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica. Os círculos indicam a porcentagem de ocorrência e a escala de cores representa a intensidade do vento (m/s). Observa-se que, durante o período de verão, os ventos mais frequentes são provenientes de SE; e no inverno existe um aumento de ocorrências de ventos oriundos de ESE e SE.

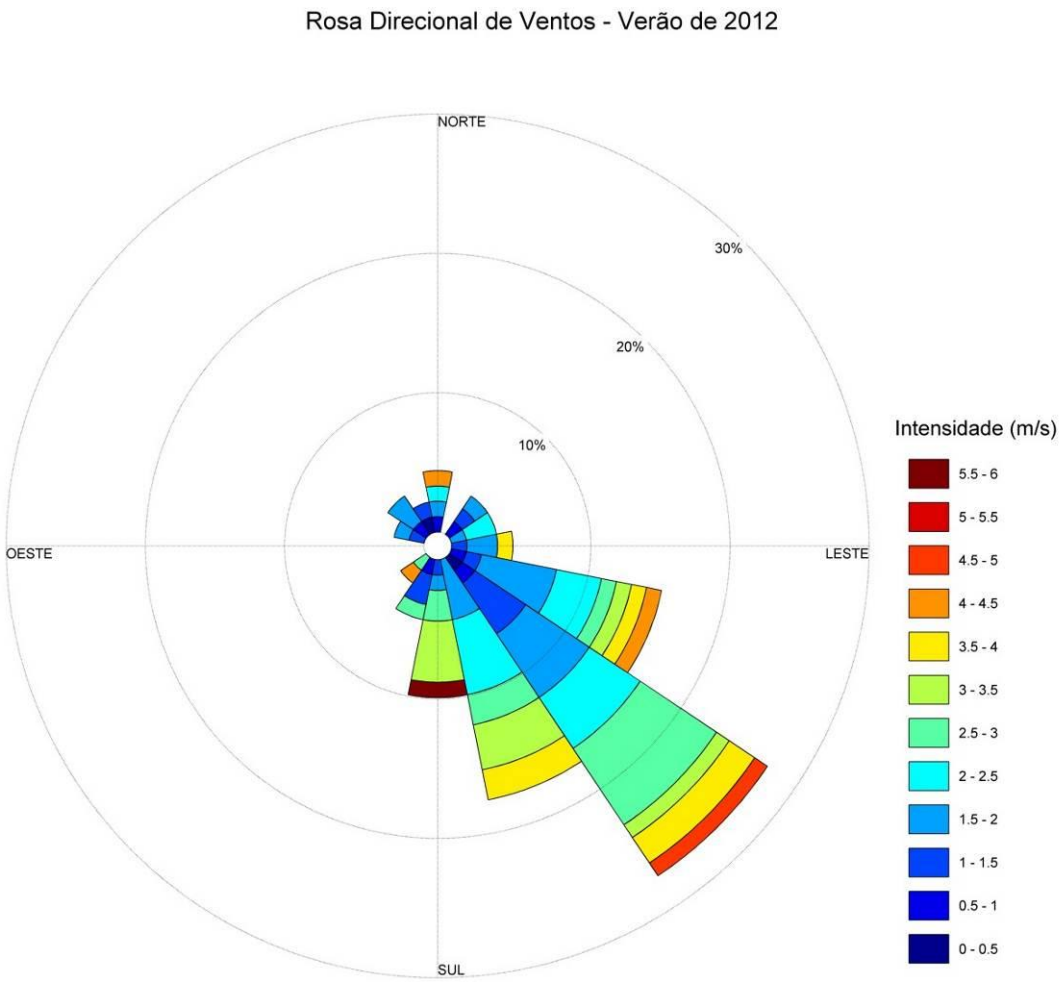

Figura 6. Rosa direcional dos ventos do NCEP para o verão do ano de 2012, na região de Paranaguá. As cores indicam a intensidade do vento (m/s) enquanto que os círculos representam a porcentagem de ocorrência.

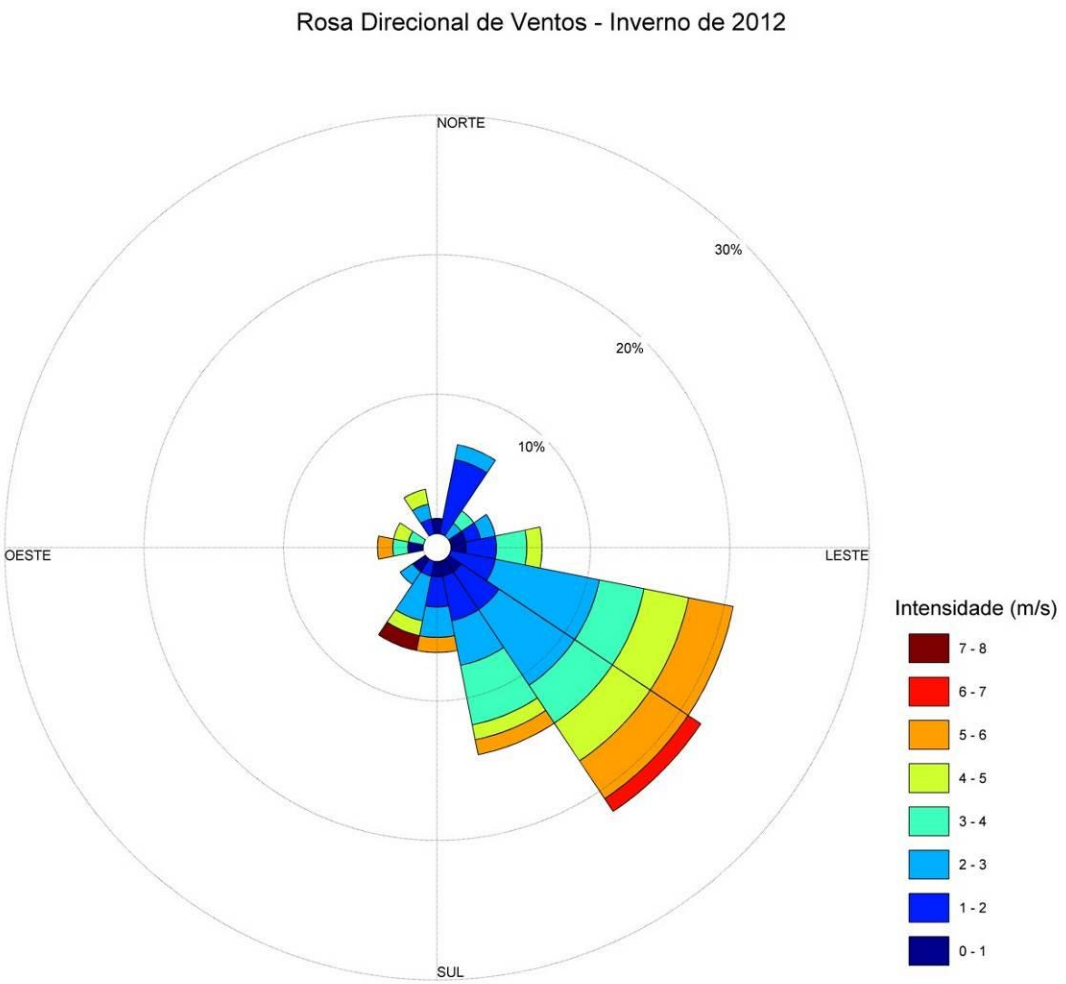

Figura 7. Rosa direcional dos ventos do NCEP para o inverno do ano de 2012, na região de Paranaguá. As cores indicam a intensidade do vento (m/s) enquanto que os círculos representam a porcentagem de ocorrência.

A Tabela 2 apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento do NCEP para o período de verão. Observa-se que os ventos provenientes de SE são os mais frequentes (27,47%), com velocidades médias entre 1 e 3 m/s e as velocidades máximas registradas são de 5 a 6 m/s, provenientes de S. Do total de ventos registrados para o período de verão, 78% têm intensidades iguais ou inferiores a 3,0 m/s, como indicam os percentuais apresentados na tabela.

A Tabela 2 apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento NCEP para o período de inverno. Observa-se que os ventos mais frequentes são provenientes da direção S (29,35%). As velocidades médias foram entre 1 e 3 m/s e os ventos mais fortes registrados, de 7 a 8 m/s, foram provenientes de SSW. Do total de registros dos ventos, 60% têm intensidades

iguais ou inferiores a 3,0 m/s, como indicam os percentuais apresentados na tabela.

Tabela 2. Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (Vel.) e direção (Dir) dos ventos do NCEP para o ano de 2012, no período de verão.

Vel./ Dir	E	ENE	ESE	N	NE	NNW	NW	S	SE	SSE	SSW	SW	WNW	Total
0 - 1			1.10	1.10	1.10	1.10	1.10		2.20		1.10			8.79
1 - 2	3.30	1.10	6.59	1.10	2.20	1.10	2.20	2.20	9.89	4.40	2.20		2.20	38.46
2 - 3		2.20	4.40	1.10				2.20	10.99	7.69	1.10	1.10		30.77
3 - 4	1.10		2.20					4.40	3.30	5.49				16.48
4 - 5			1.10	1.10					1.10			1.10		4.40
5 - 6								1.10						1.10
Total	4.40	3.30	15.38	4.40	3.30	2.20	3.30	9.89	27.47	17.58	4.40	2.20	2.20	100.00

Tabela 3. Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (Vel.) e direção (Dir) dos ventos do NCEP para o ano de 2012, no período de inverno.

Vel./ Dir	E	ENE	ESE	N	NE	NNE	NNW	S	SE	SSW	SW	W	WNW	Total
0 - 1	1.09	1.09		1.09				2.17	1.09		1.09	1.09		8.70
1 - 2	2.17	1.09	3.26			5.43	1.09	7.61	1.09	1.09				22.83
2 - 3		1.09	7.61		1.09	1.09	1.09	6.52	5.43	3.26	1.09			28.26
3 - 4	2.17		3.26		1.09			7.61				1.09	1.09	16.30
4 - 5	1.09		3.26				1.09	1.09	3.26	1.09			1.09	11.96
5 - 6			3.26					4.35	1.09			1.09		9.78
6 - 7									1.09					1.09
7 - 8										1.09				1.09
Total	6.52	3.26	20.65	1.09	2.17	6.52	3.26	29.35	13.04	6.52	2.17	3.26	2.17	100.00

4.2.3. Dados de Maré

Os dados referentes a maré, e inseridos no modelo numérico, foram obtidos da tabela de constantes harmônicas disponibilizada pela Fundação de Estudos do Mar - FEMAR para o Porto de Paranaguá (Figura 8).

A variação média de maré para a baía de Paranaguá é de 2,2 m, sendo de caráter predominantemente semidiurno, embora ocorram desigualdades e efeitos não lineares (MARONE *et al.*, 1995).

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR *Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras*

Nome da Estação :	PORTO DE PARANAGUÁ – PR		
Localização :	Na quina Oeste do Cais do Porto		
Organ. Responsável :	APPA / INPH / DHN		
Latitude :	25° 30,1' S	**Longitude :**	48° 31,5' W
Período Analisado :	01/04/95 a 30/11/95	**Nº de Componentes :**	20
Análise Harmônica :	Método Almirante Santos Franco		
Classificação :	Maré de Desigualdades Diurnas		
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)	III H 23 min	**Nível Médio (Zo):**	90 cm acima do NR.
Média das Preamares Superiores (MHHW) :	176 cm acima do NR.	**Média das Preamares Inferiores (MLHW) :**	169 cm acima do NR
Média das Baixa-mares Superiores (MHLW) :	20 cm acima do NR.	**Média das Baixa-mares Inferiores (MLLW) :**	5 cm acima do NR.

CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS

Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU_2	4,0	144
Ssa	-	-	N_2	7,4	167
Mm	-	-	NU_2	-	-
Mf	-	-	M_2	49,1	096
MTM	-	-	L_2	2,9	105
Msf	-	-	T_2	-	-
Q_1	3,3	057	S_2	33,3	101
O_1	11,1	080	K_2	-	-
M_1	1,6	273	MO_3	10,5	061
P_1	-	-	M_3	16,2	262
K_1	7,6	138	MK_3	5,9	152
J_1	-	-	MN_4	6,7	221
OO_1	-	-	M_4	16,0	272
MNS_2	-	-	SN_4	-	-
$2N_2$	-	-	MS_4	6,7	356

Referências de Nível: RN PORTOBRAS – implantada no pier junto ao cabeço 5.

Obs: Outros Periodos: 13/07/92 a 16/08/92; 02/01/94 a 31/10/94; 07/12/94 a 31/12/94; 02/05/96 a 31/05/96
Passou a constar das Tábuas das Marés em 1998.
Ver também a estação 60.140.

Código BNDO: 60132

- 252 -

Figura 8. Tabela de componentes harmônicas de maré da FEMAR para a estação do Porto de Paranaguá, Paranaguá, PR.

4.3. Validação do Modelo Numérico

Para a validação do modelo numérico foram utilizados dados coletados em tempo real através do fundeio de um perfilador acústico de correntes (ADCP), baseado no efeito Doppler da marca Nortek, modelo AWAC® 1 MHz, instalado em uma bóia de sinalização do canal portuário de Paranaguá, nas proximidades do TCP, nas coordenadas geográficas 25° 29' 47,87" S e 48° 29' 45,38" W (SIRGAS-2000) (Figura 9 e Figura 10).

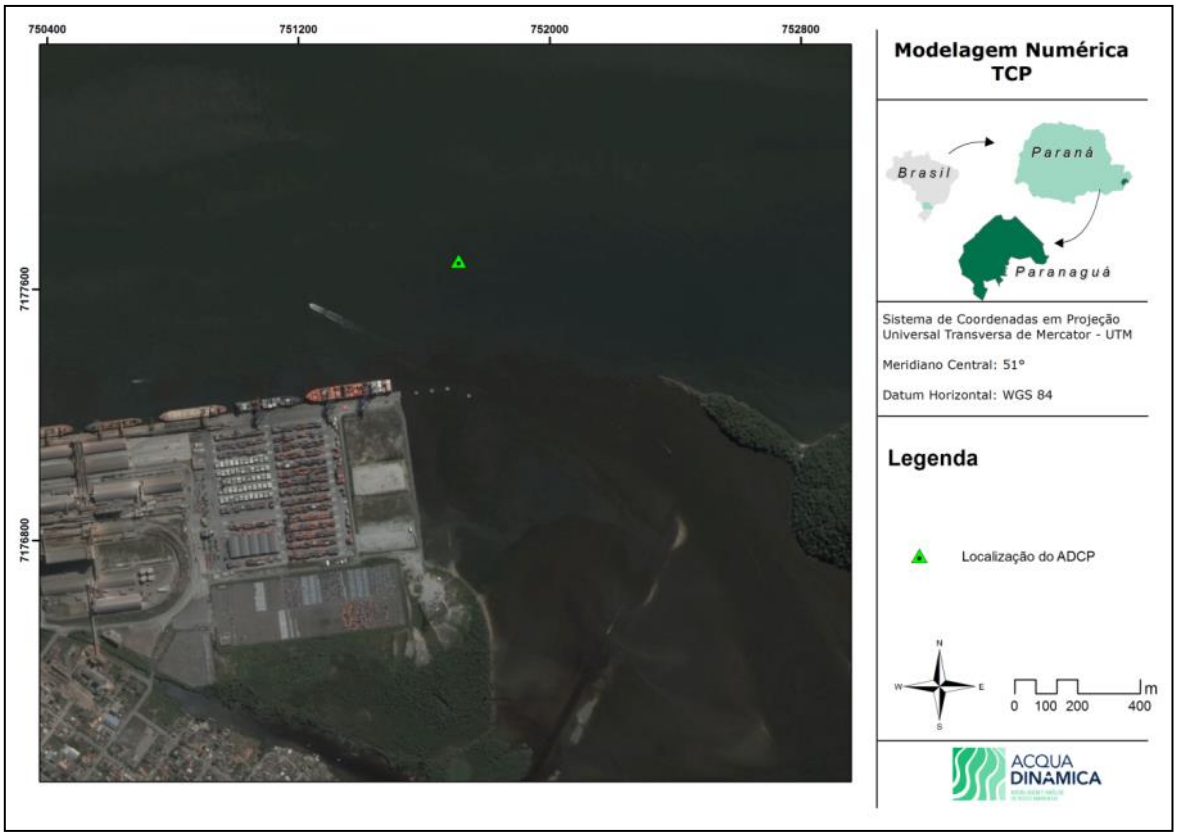

Figura 9. Localização de instalação do ADCP próximo ao Terminal de Contêineres de Paranaguá - TCP.

Figura 10. Perfilador de correntes acústico AWAC®.

Os dados coletados para a validação do modelo possuíam o mesmo período da modelagem realizada, tendo sido coletados dados de corrente, ondas, nível de água, temperatura e turbidez, sendo a escala temporal de 10 minutos. Os dados foram disponibilizados pelo Terminal de Contêineres de Paranaguá - TCP.

A Figura 11 e a Figura 12 apresentam os gráficos de comparação entre os dados de velocidade de corrente maré medidos em campo e modelados, para as componentes x e y, respectivamente. Verifica-se uma boa correlação entre os

dados medidos e os dados modelados, sendo que para alguns dias, observou-se uma pequena subestimação nas correntes modeladas no interior do estuário.

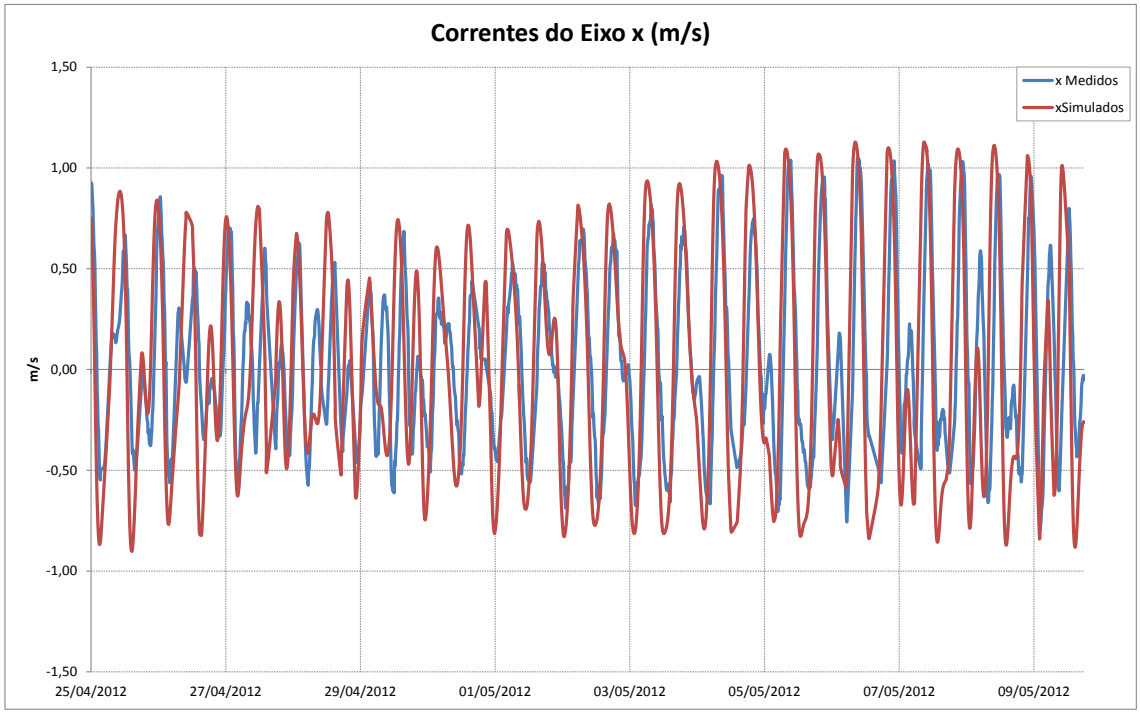

Figura 11. Comparação dos dados de corrente da componente x (m/s) medidos pelo ADCP e dados modelados, para a área de estudo.

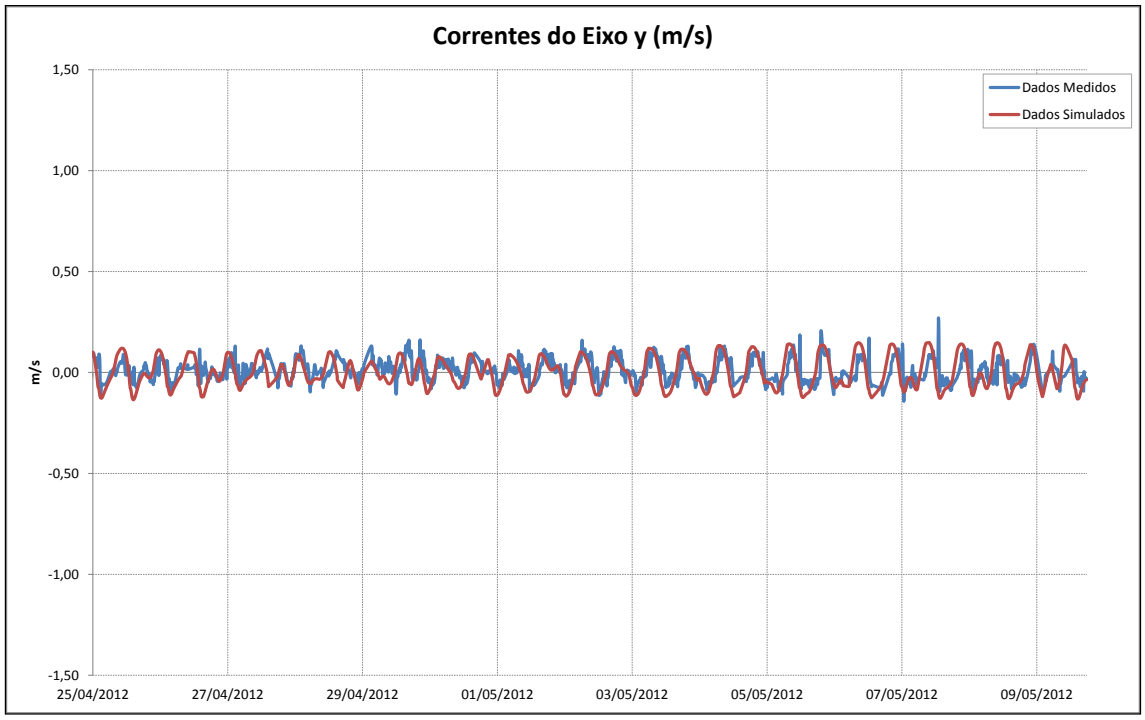

Figura 12. Comparação dos dados de corrente da componente y (m/s) medidos pelo ADCP e dados modelados, para a área de estudo.

4.4. MODELAGEM NUMÉRICA DISPERSÃO DE ÓLEO

A modelagem do derrame de óleo apresentada neste estudo, foi realizada utilizando o modelo OSCAR (*Oil Spill Contingency and Response*), desenvolvido pela SINTEF (Fundação de Pesquisa Científica e Industrial do Instituto de Tecnologia da Noruega), com o intuito de dar suporte à planos de contingência de óleo e respaldo à tomada de decisões.

O modelo fornece, para alternativas de resposta a derrames de óleo, uma base para a compreensão e avaliação quantitativa do impacto ambiental no meio marinho. Os processos utilizados na modelagem do comportamento dos poluentes no OSCAR são apresentados na Figura 13.

O modelo de intemperismo do óleo calcula e armazena a distribuição em três dimensões físicas, mais o tempo que o contaminante permanece na superfície da água, ao longo da linha de costa, na coluna d'água e nos sedimentos, empregando algoritmos de advecção, espalhamento, emulsificação, volatilização, dispersão, dissolução, adsorção e entranhamento. Na coluna de água, advecção horizontal e vertical e dispersão de hidrocarbonetos entranhados e dissolvidos são simulados através de processos randômicos e a separação dos estados dissolvido e particulado-adsorvido é calculada com base na teoria do equilíbrio linear (REED *et al.,* 1996).

A fração do contaminante que é adsorvida ao material particulado suspenso sedimenta com as partículas e os contaminantes do fundo são misturados com os sedimentos, e podem se dissolver de volta na coluna de água. A degradação na água e nos sedimentos é representada como um processo de decaimento de primeira ordem (linear) e os algoritmos usados para simular esses processos que controlam as substâncias são descritos em Aamo *et al.* (1995) e Reed *et al.* (1995, 1996).

Um banco de dados de óleo e compostos químicos fornecem parâmetros químicos e toxicológicos exigidos pelo modelo. Os resultados das simulações são

armazenados em passos-de-tempo, ficando disponíveis como entrada para um ou mais modelos de exposição biológica.

O modelo de resposta ao derrame de óleo permite a simulação de cenários probabilísticos e determinísticos com uso de barreiras de contenção, recolhedores de óleo e dispersante químico. Existe também um modelo biológico de exposição a peixes, ictioplâncton, pássaros e mamíferos marinhos que mensura o impacto sobre cada grupo de organismos de acordo com a intensidade do derramamento.

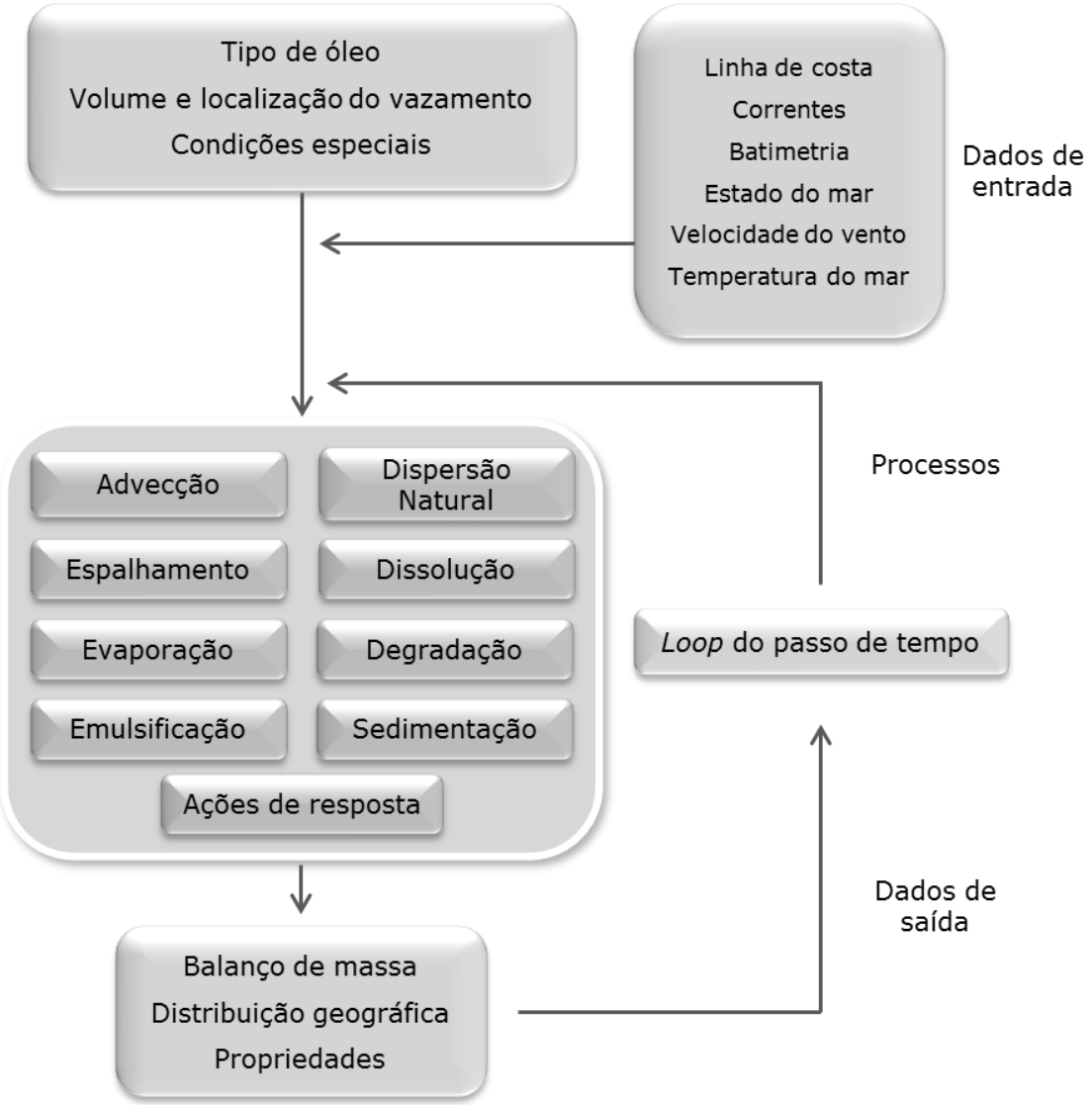

Figura 13. Processos utilizados na modelagem do comportamento dos poluentes no OSCAR (Modificado de REED, 2000).

4.4.1. Dados de Entrada

4.4.1.1. Dados de Correntes

Os dados de correntes utilizados na modelagem de derrame de óleo para este estudo foram gerados através da modelagem hidrodinâmica realizada pela ACQUADINÂMICA.

Maré de quadratura

As velocidades de enchente e vazante em quadratura, obtidas através de modelagem, foram da ordem de 0,4 m/s para toda a área modelada. Na condição de maré enchente, a velocidade de corrente em frente ao cais atinge velocidade de 0,30 m/s, e na porção a sudeste do cais, ao lado oeste do Canal da Cotinga, as velocidades podem chegar a um valor de 0,05 m/s, sendo que a redução de velocidade está relacionada ao atrito causado por um baixio existente na região a corrente de maré (Figura 14 e Figura 14).

Maré de sizígia

As velocidades de correntes de enchente e vazante em sizígia foram da ordem de 1 m/s na enchente e na vazante. Na condição enchente de sizígia, as velocidades de corrente na região do cais atual atingiram velocidades entre 0,1 m/s e 0,8 m/s no canal em frente ao cais (Figura 16 e Figura 17).

Para a elaboração dos cenários de deriva para acidentes com óleo simulados neste estudo, foi definido uma grade *land-water* com resolução espacial de 80 metros (Figura 18).

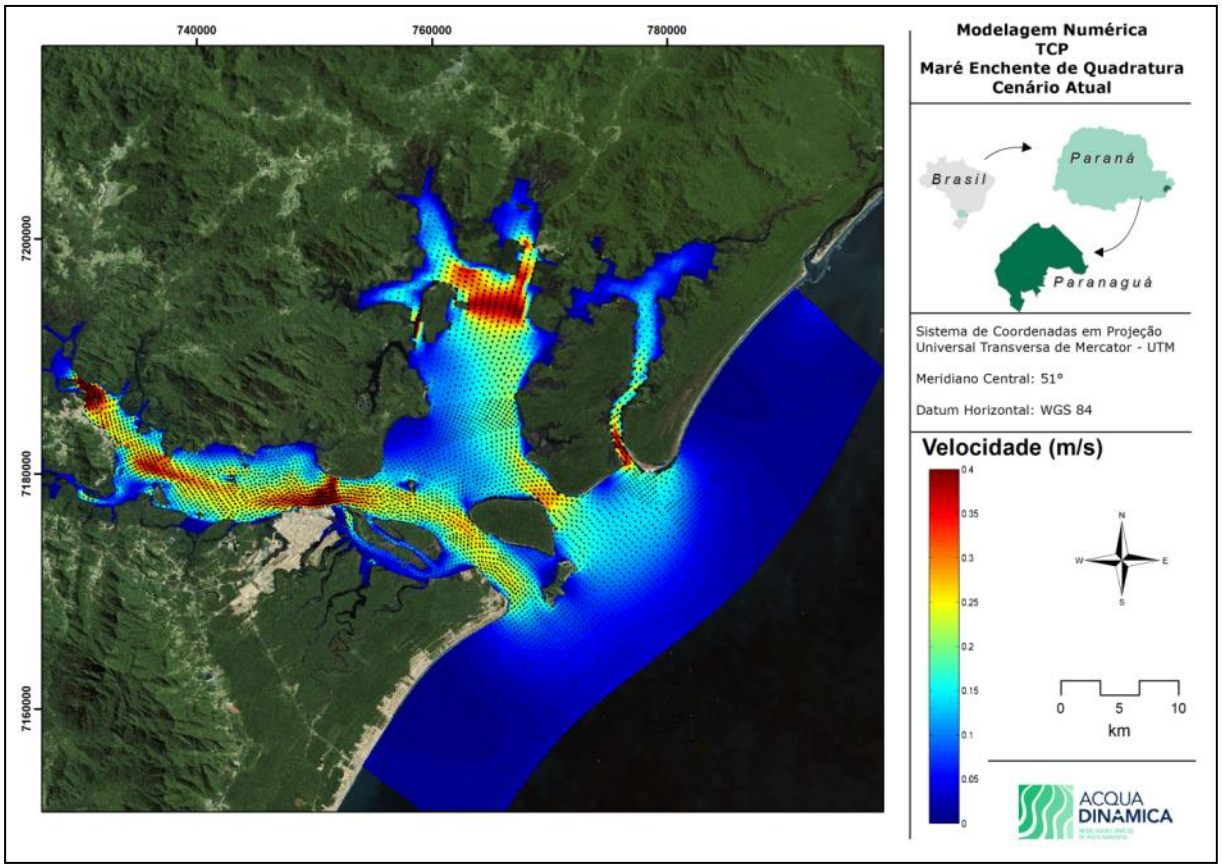

Figura 14. Velocidades máximas de maré enchente em quadratura, para a o Complexo Estuarino de Paranaguá.

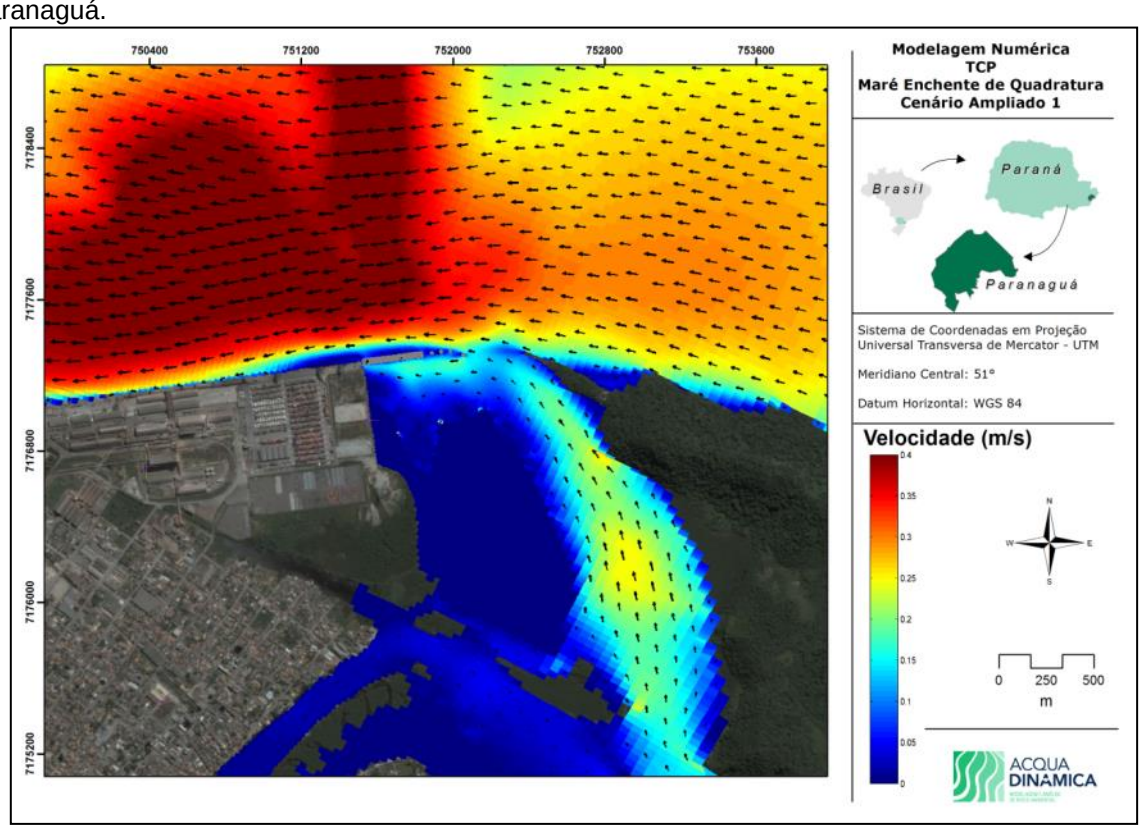

Figura 15. Velocidades de corrente em situação de quadratura enchente para a região do TCP.

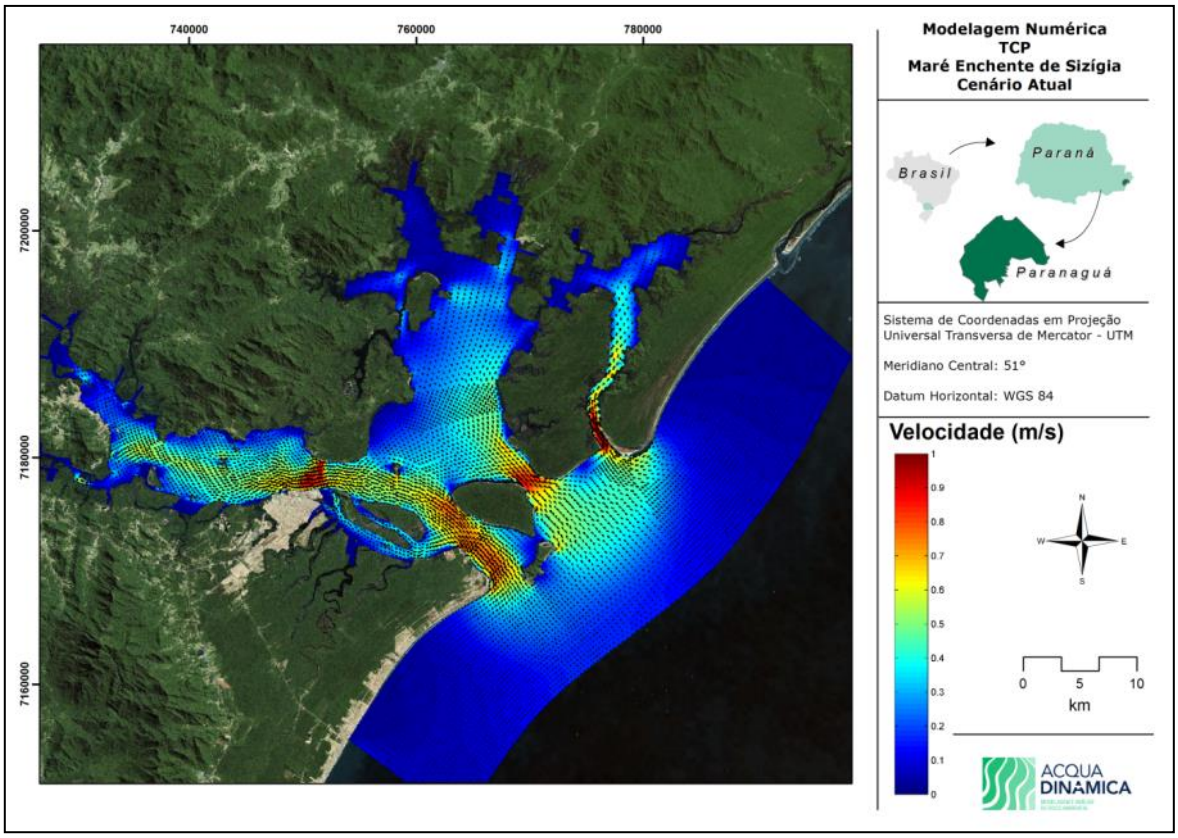

Figura 16. Velocidades máximas de maré enchente em sizígia, para a o Complexo Estuarino de Paranaguá.

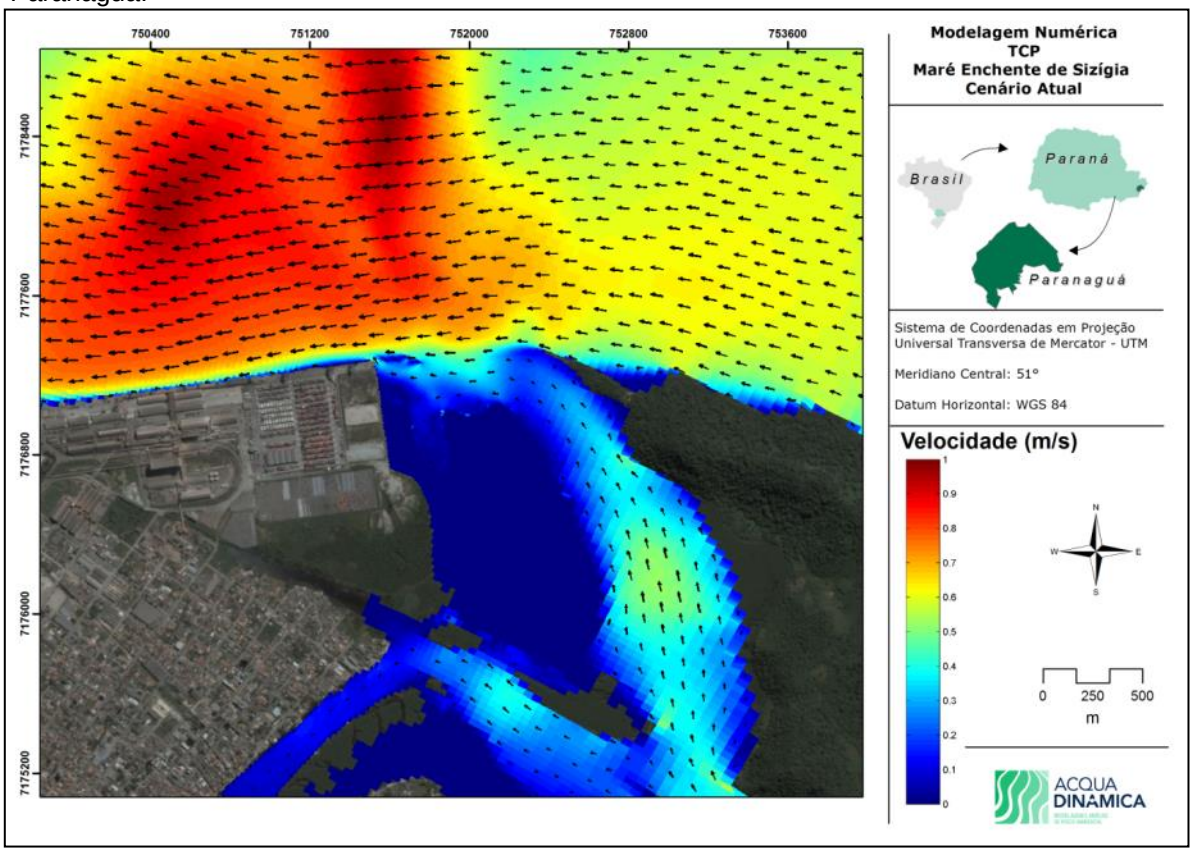

Figura 17. Velocidades de corrente em situação de sizígia enchente para a região do TCP.

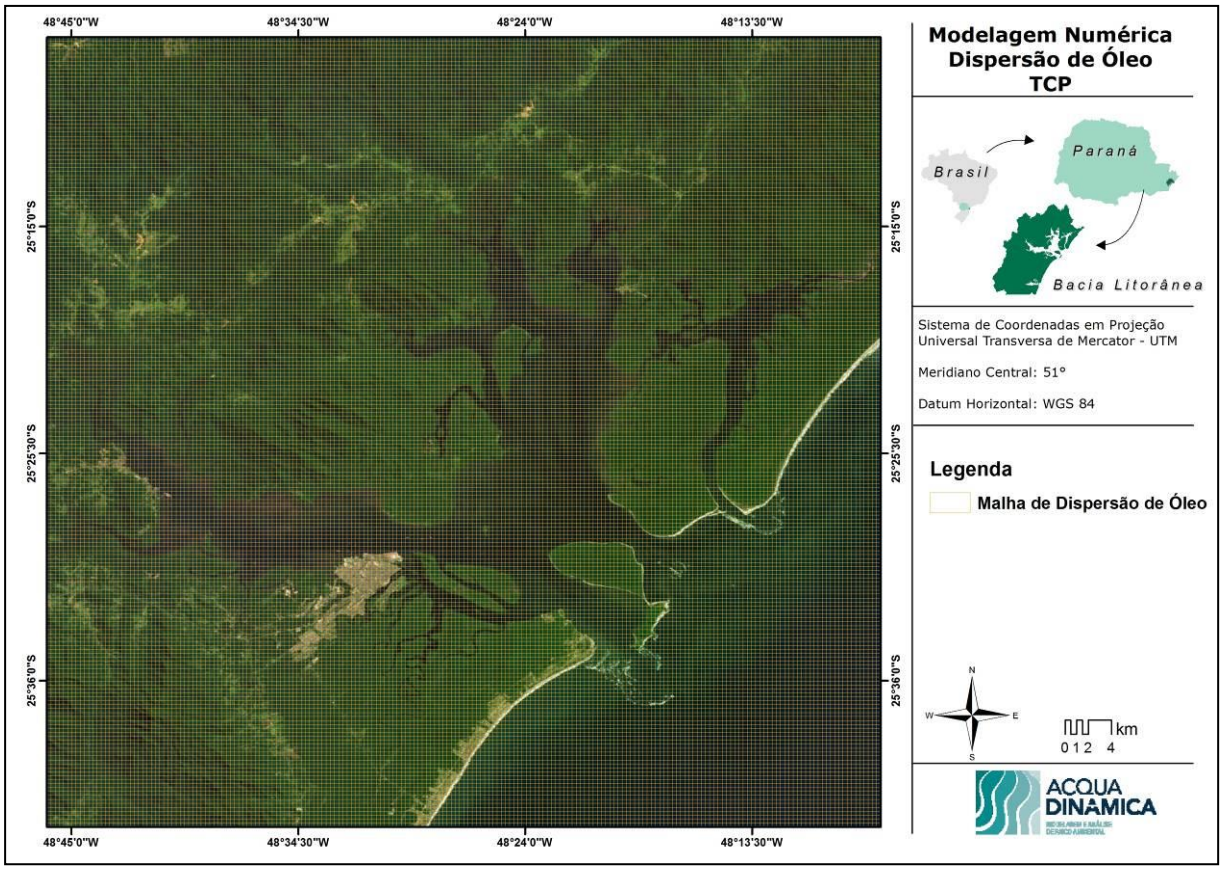

Figura 18. Malha numérica utilizada para a modelagem de dispersão de óleo.

4.4.1.2. Dados de Vento

Para a modelagem de dispersão de óleo foram utilizados os dados de vento descritos no Capítulo 3.2.2.

4.4.1.3. Ponto de Risco

Para a análise de dispersão de óleo no Terminal de Contêineres de Paranaguá – TCP foi considerado como um ponto de risco[1], localizado no cais de atracação do TCP, com coordenadas geográficas 48°29'46,49" W e 25°29'58,93" S (datum WGS-84) (Figura 1).

[1] Local onde foi simulado o início do derrame de óleo.

4.4.1.4. Critério de Parada Adotado nas Simulações

O derrame para todas as simulações foi considerado instantâneo, ou seja, todo o volume de óleo simulado foi disponibilizado para o modelo no tempo "zero". O critério de parada[2] adotado nas simulações foi o tempo de 60 h para o acompanhamento da mancha de óleo (tempo máximo para a disponibilização de recursos de contenção/limpeza no local da ocorrência da descarga especificados na Resolução CONAMA nº 398/08).

4.4.2. Simulações Probabilísticas

As simulações no modo probabilístico consideram a variabilidade das forçantes ambientais, enquanto que as simulações de comportamento do óleo derramado são realizadas através da variação aleatória do início do vazamento, dentro do período de tempo para o qual se dispõe de informações meteorológicas e oceanográficas do local.

Para que fosse possível incorporar a variabilidade dessas forçantes, foi realizada com o modelo OSCAR uma série de 300 simulações para cada cenário probabilístico. Na Tabela 4 são apresentados os cenários probabilísticos simulados neste estudo.

Tabela 4. Cenários utilizados nas simulações probabilísticas.

CENÁRIO	PRODUTO	VOLUME (m^3)	DURAÇÃO DO VAZAMENTO	ESTAÇÃO	TEMPO (H)
Verão_8m^3	*Óleo Pesado Bunker C*	8	Instantâneo	Verão	60
Verão_200m^3	*Óleo Pesado Bunker C*	200	Instantâneo	Verão	60
Verão_7050m^3	*Óleo Pesado Bunker C*	7.050	Instantâneo	Verão	60
Inverno_8m^3	*Óleo Pesado Bunker C*	8	Instantâneo	Inverno	60
Inverno_200m^3	*Óleo Pesado Bunker C*	200	Instantâneo	Inverno	60
Inverno_7050m^3	*Óleo Pesado Bunker C*	7.050	Instantâneo	Inverno	60

[2] Tempo máximo para a disponibilização de recursos de contenção/limpeza no local da ocorrência da descarga especificados na Resolução CONAMA nº 398/08

4.4.3. Simulações Determinísticas

Para as simulações determinísticas, ao invés de se apresentar simplesmente a simulação de pior caso do modelo probabilístico, como de costume nos estudos de modelagem, verificou-se que o momento de início do derrame de óleo pode influenciar, e muito, no resultado de dispersão do óleo após 60 horas de simulação, dependendo da condição de maré (baixamar, meré enchente, preamar e maré vazante, quadratura, sizígia) no momento do início do vazamento. Desta forma, foram realizados diversos cenários determinísticos considerando o volume de pior caso de 7.050 m^3, considerando diferentes condições de maré e ventos no início do vazamento, descritos na Tabela 5.

Tabela 5. Cenários utilizados nas simulações determinísticas.

CENÁRIO	Condição da maré	Vento	DURAÇÃO DO VAZAMENTO	TEMPO (H)
01	*Quadratura Baixamar*	NE 1,5 m/s	Instantâneo	60
02	*Quadratura Enchente*	NE 1,5 m/s	Instantâneo	60
03	*Quadratura Preamar*	NE 1,5 m/s	Instantâneo	60
04	*Quadratura Vazante*	NE 1,5 m/s	Instantâneo	60
05	*Quadratura Baixamar*	E 1,5 m/s	Instantâneo	60
06	*Quadratura Enchente*	E 1,5 m/s	Instantâneo	60
07	*Quadratura Preamar*	E 1,5 m/s	Instantâneo	60
08	*Quadratura Vazante*	E 1,5 m/s	Instantâneo	60
09	*Quadratura Baixamar*	SE 1,5 m/s	Instantâneo	60
10	*Quadratura Enchente*	SE 1,5 m/s	Instantâneo	60
11	*Quadratura Preamar*	SE 1,5 m/s	Instantâneo	60
12	*Quadratura Vazante*	SE 1,5 m/s	Instantâneo	60
13	*Sizígia Baixamar*	NE 1,5 m/s	Instantâneo	60
14	*Sizígia Enchente*	NE 1,5 m/s	Instantâneo	60
15	*Sizígia Preamar*	NE 1,5 m/s	Instantâneo	60
16	*Sizígia Vazante*	NE 1,5 m/s	Instantâneo	60
17	*Sizígia Baixamar*	E 1,5 m/s	Instantâneo	60
18	*Sizígia Enchente*	E 1,5 m/s	Instantâneo	60
19	*Sizígia Preamar*	E 1,5 m/s	Instantâneo	60
20	*Sizígia Vazante*	E 1,5 m/s	Instantâneo	60
21	*Sizígia Baixamar*	SE 1,5 m/s	Instantâneo	60
22	*Sizígia Enchente*	SE 1,5 m/s	Instantâneo	60
23	*Sizígia Preamar*	SE 1,5 m/s	Instantâneo	60
24	*Sizígia Vazante*	SE 1,5 m/s	Instantâneo	60

6. RESULTADOS DA MODELAGEM DE DISPERSÃO DE ÓLEO

6.1. SIMULAÇÕES PROBABILISTICAS

Neste capítulo serão apresentados os resultados das simulações probabilísticas de derrame de óleo para a região do Complexo Estuarino de Paranaguá – CEP, tendo como ponto de risco o cais de atracação do Terminal de Contêineres de Paranaguá – TCP, para cada cenário descrito na Tabela 4.

A Tabela 6 apresenta um resumo dos resultados obtidos para os cenários probabilísticos de verão (janeiro a março) e de inverno (julho a setembro). Observa-se que os cenários simulados para o inverno apresentaram os maiores valores de extensão de costa com probabilidade de toque do óleo[3] e área superficial com probabilidade de ocorrência de óleo na água em relação aos cenários de verão. Isto pode estar relacionado a maior intensidade de ventos observados no inverno em relação aos ventos de verão.

Tabela 6. Resultados das simulações probabilísticas (extensão da costa com probabilidade de toque e área superficial com probabilidade de ocorrência de óleo na água).

CENÁRIO	EXTENSÃO DE TOQUE NA COSTA (km)	ÁREA TOTAL NA SUPERFÍCIE DA ÁGUA (km²)
8 m^3 Bunker C Verão 60h	38	58
200 m^3 Bunker C Verão 60h	53	92
7.050 m^3 Bunker C Verão 60h	66	98
8 m^3 Bunker C Inverno 60h	70	94
200 m^3 Bunker C Inverno 60h	77	98
7.050 m^3 Bunker C Inverno 60h	95	105

As Figuras 19 a 30 apresentam os resultados das simulações de forma gráfica, com os intervalos de probabilidade da presença de óleo na água e na costa, além do tempo de deslocamento do óleo na superfície da água, em decorrência de derrames acidentais hipotéticos durante os períodos de verão e de inverno. Cabe ressaltar que as simulações realizadas consideram a trajetória e o intemperismo do óleo na ausência de medidas de contenção e de remoção deste óleo derramado.

[3] Probabilidade de ocorrer toque do óleo na costa.

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

As ilustrações dos contornos para cada tempo de deslocamento do óleo na água correspondem ao tempo mínimo de deslocamento de óleo na água calculado (para cada posição da grade) entre todos os cenários determinísticos que compõem o cenário probabilístico. Nestas ilustrações são apresentados os tempos de 2, 6, 12, 24, 36, 60 horas após o início do derrame, selecionados de acordo com o tempo máximo para a disponibilização de recursos de contenção/limpeza no local da ocorrência da descarga especificados na Resolução CONAMA Nº 398/08 (BRASIL, 2008).

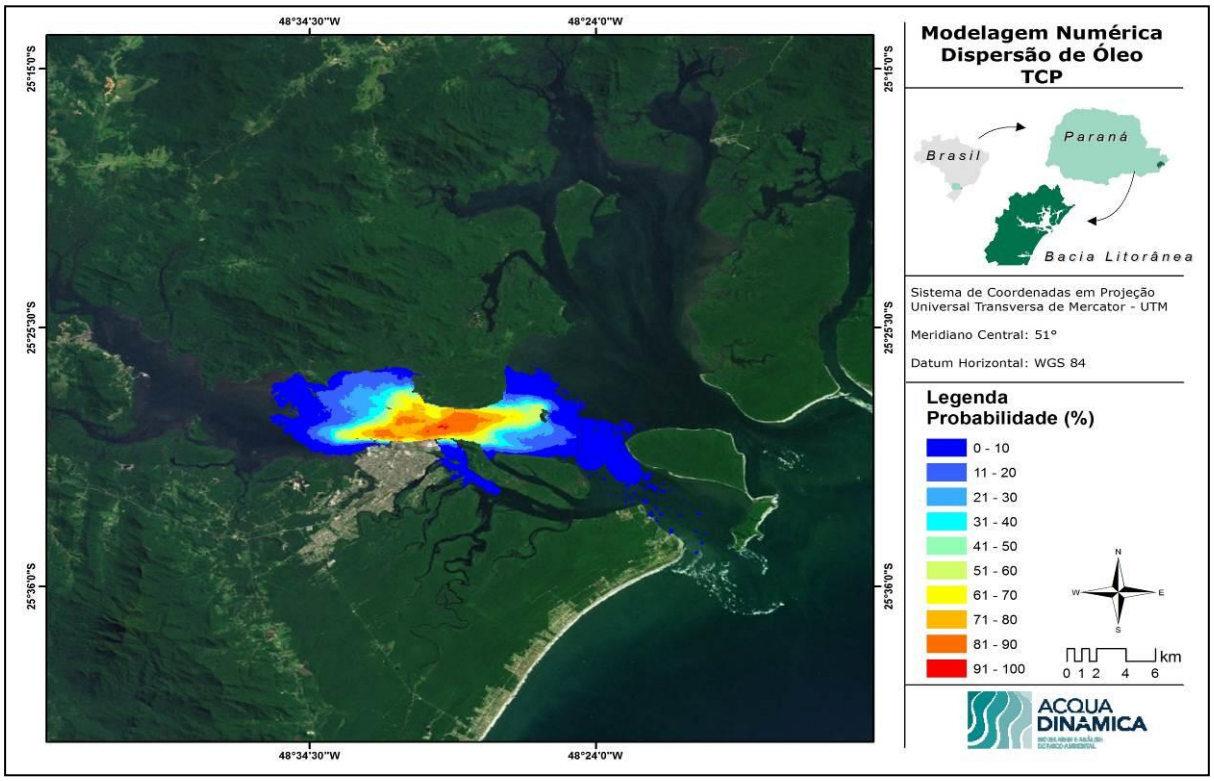

Figura 19. Contornos de probabilidade de óleo tipo bunker na água para um acidente ocorrendo durante o inverno no píer do TCP, com derrame de 8 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

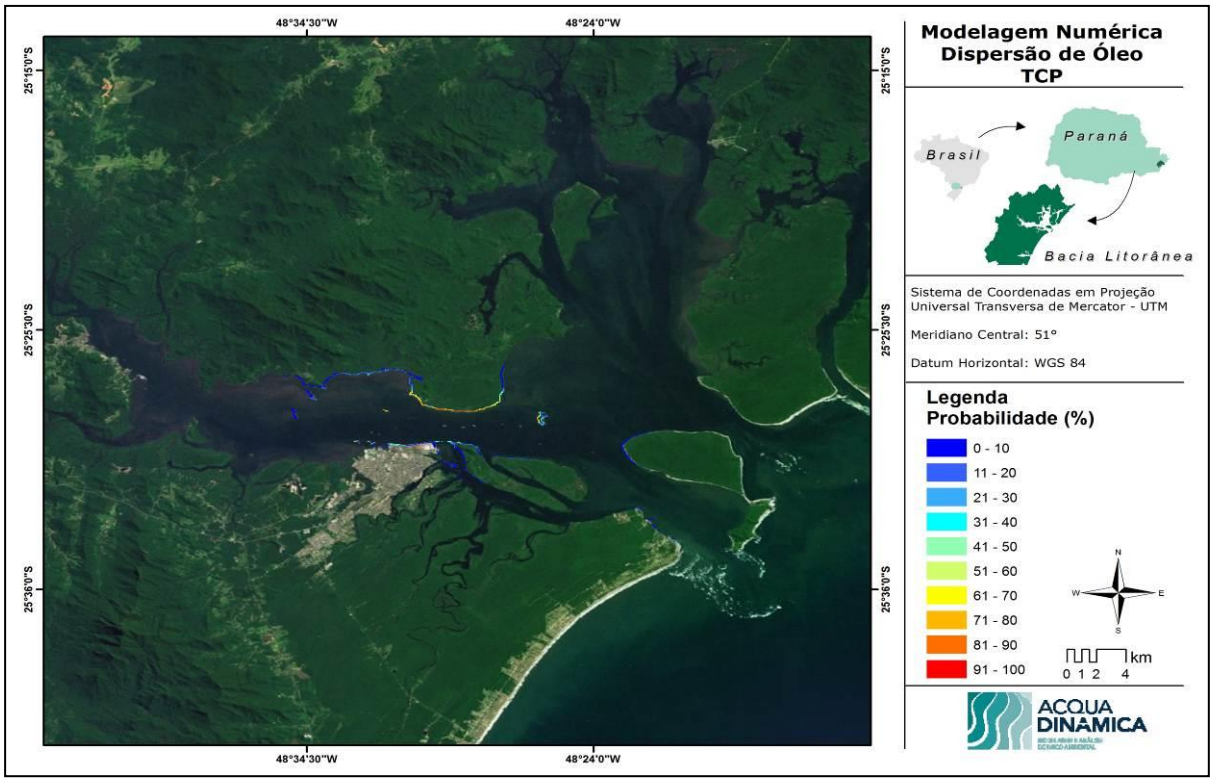

Figura 20. Probabilidades de toque de óleo na costa para um acidente com óleo tipo bunker ocorrendo durante o inverno no píer do TCP, com derrame de 8 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

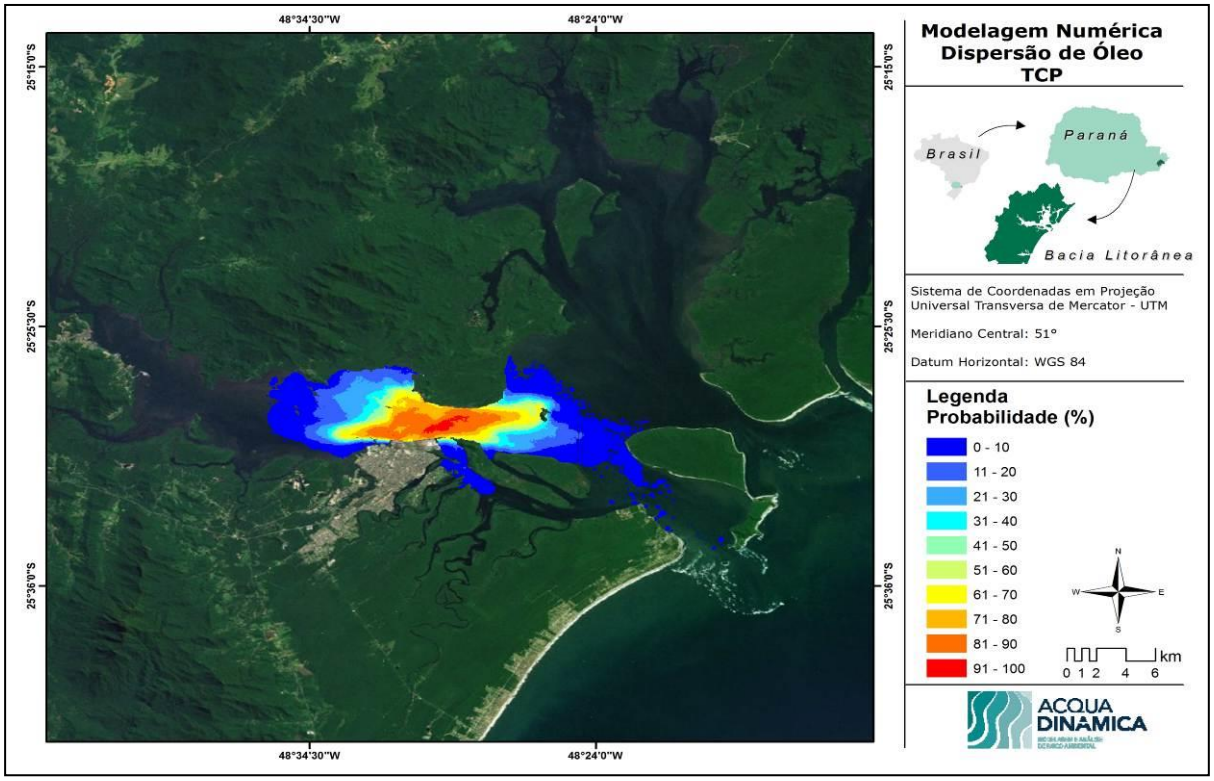

Figura 21. Contornos de probabilidade de óleo tipo bunker na água para um acidente ocorrendo durante o inverno no píer do TCP, com derrame de 200 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

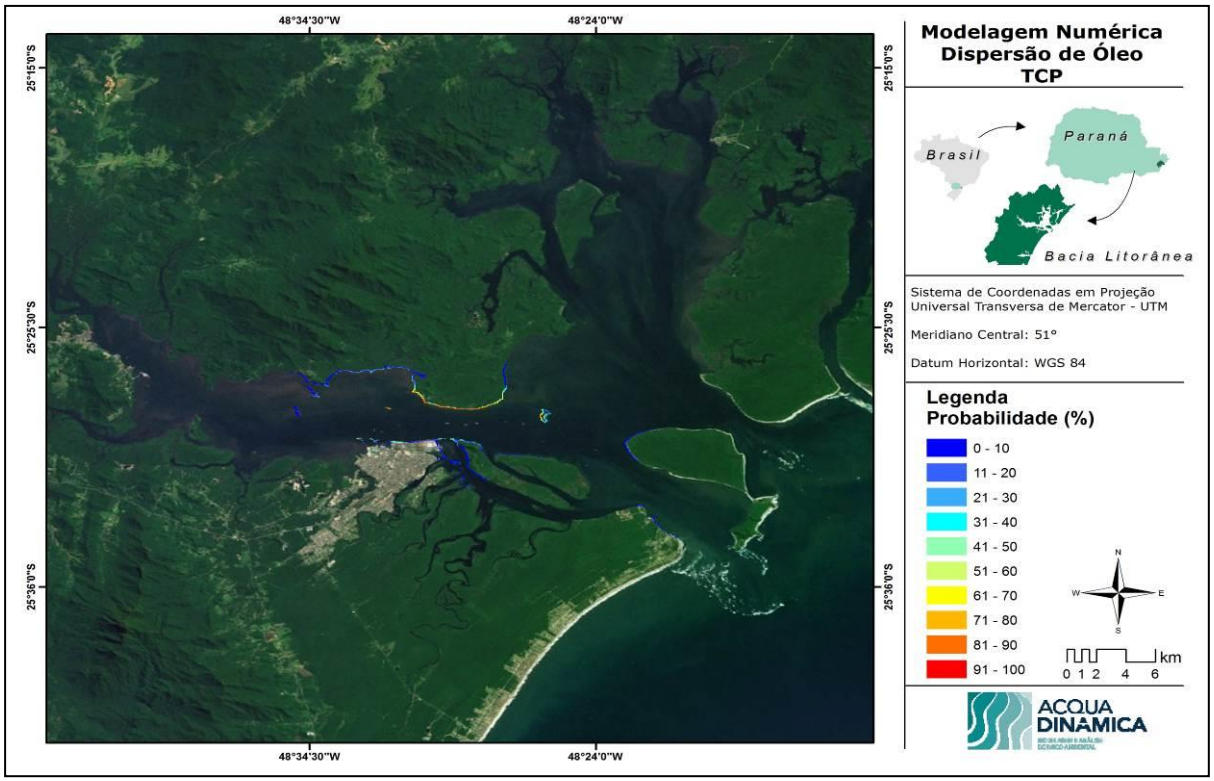

Figura 22. Probabilidades de toque de óleo na costa para um acidente com óleo tipo bunker ocorrendo durante o inverno no píer do TCP, com derrame de 200 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

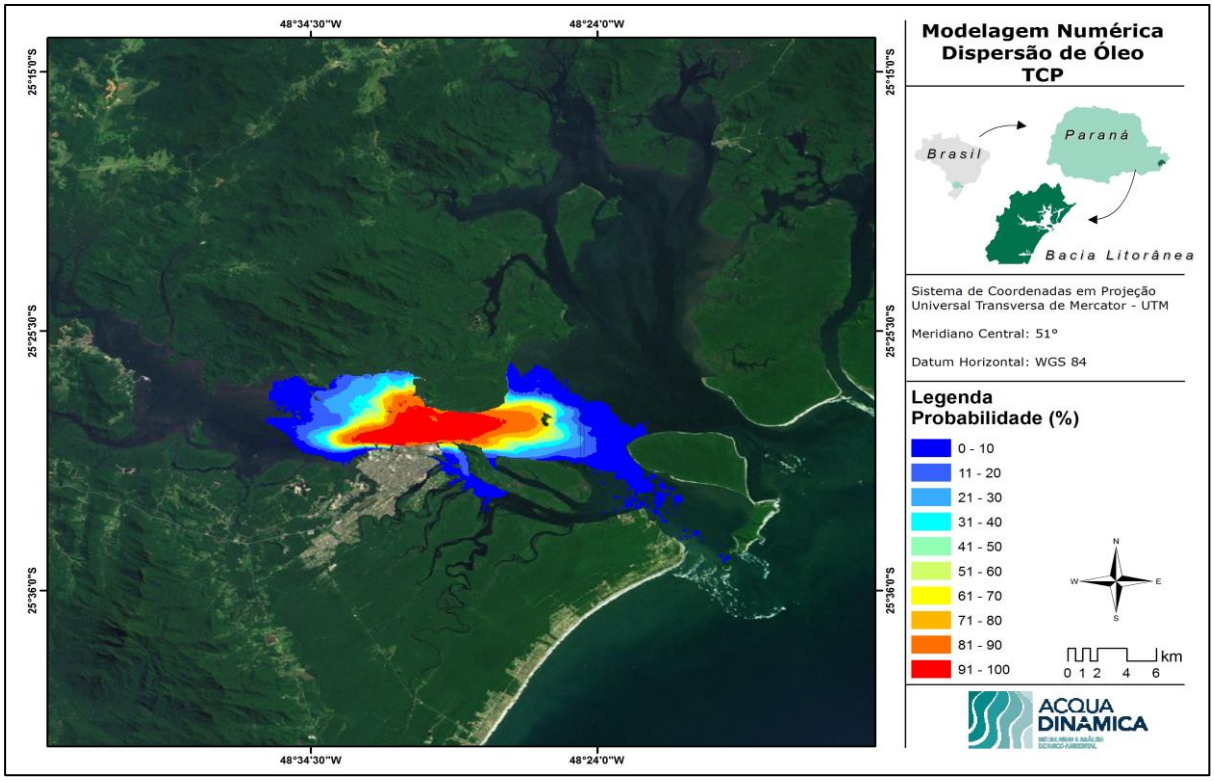

Figura 23. Contornos de probabilidade de óleo tipo bunker na água para um acidente ocorrendo durante o inverno no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

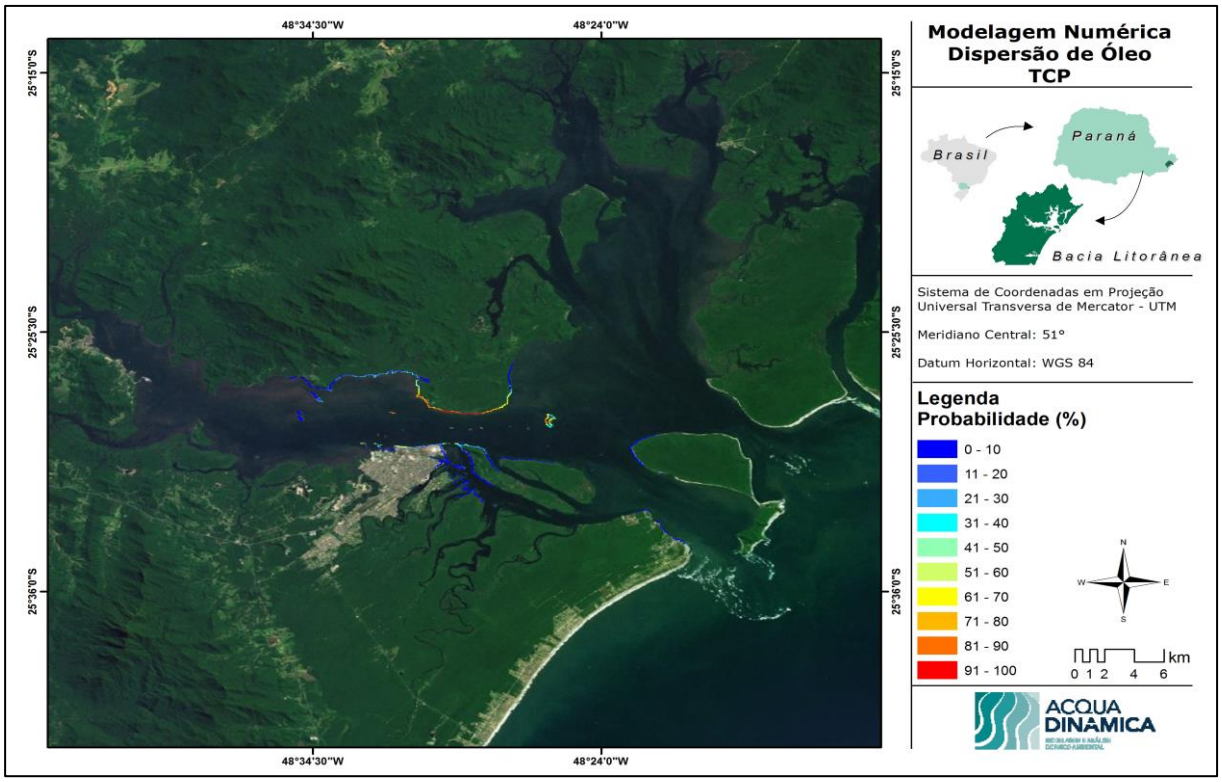

Figura 24. Probabilidades de toque de óleo na costa para um acidente com óleo tipo bunker ocorrendo durante o inverno no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

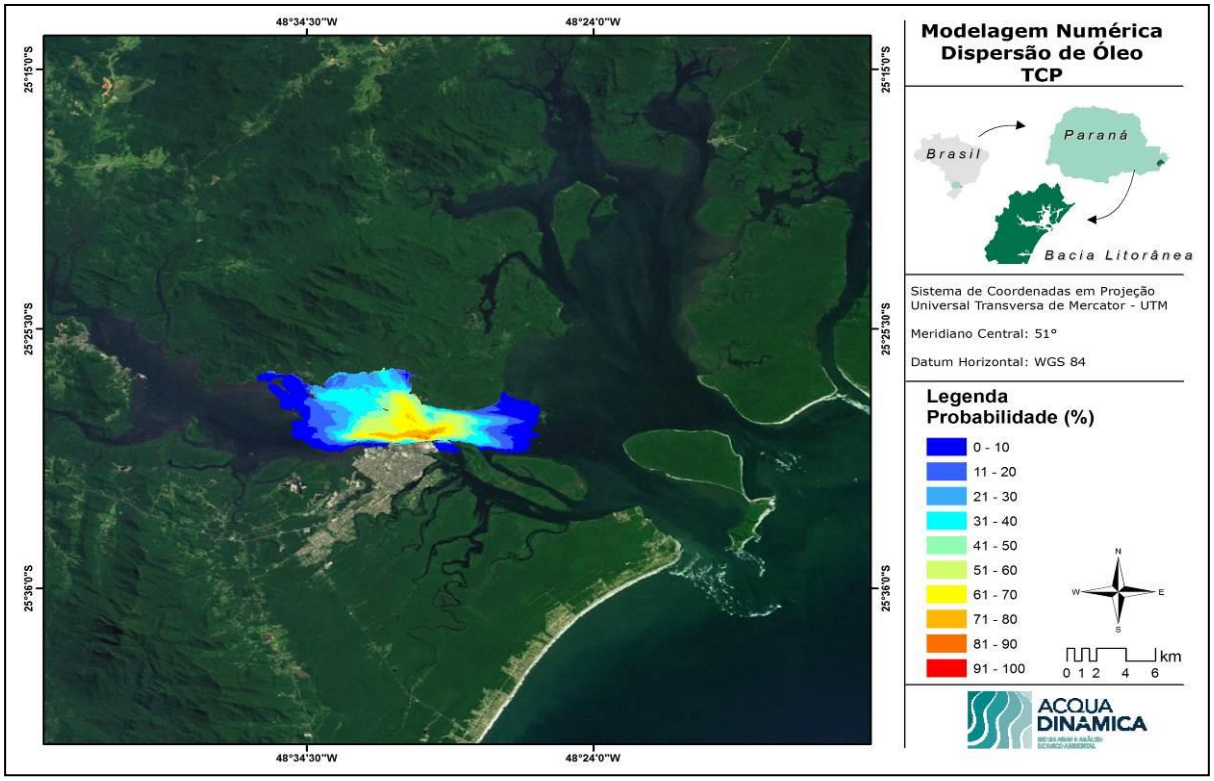

Figura 25. Contornos de probabilidade de óleo tipo bunker na água para um acidente ocorrendo durante o verão no píer do TCP, com derrame de 8 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

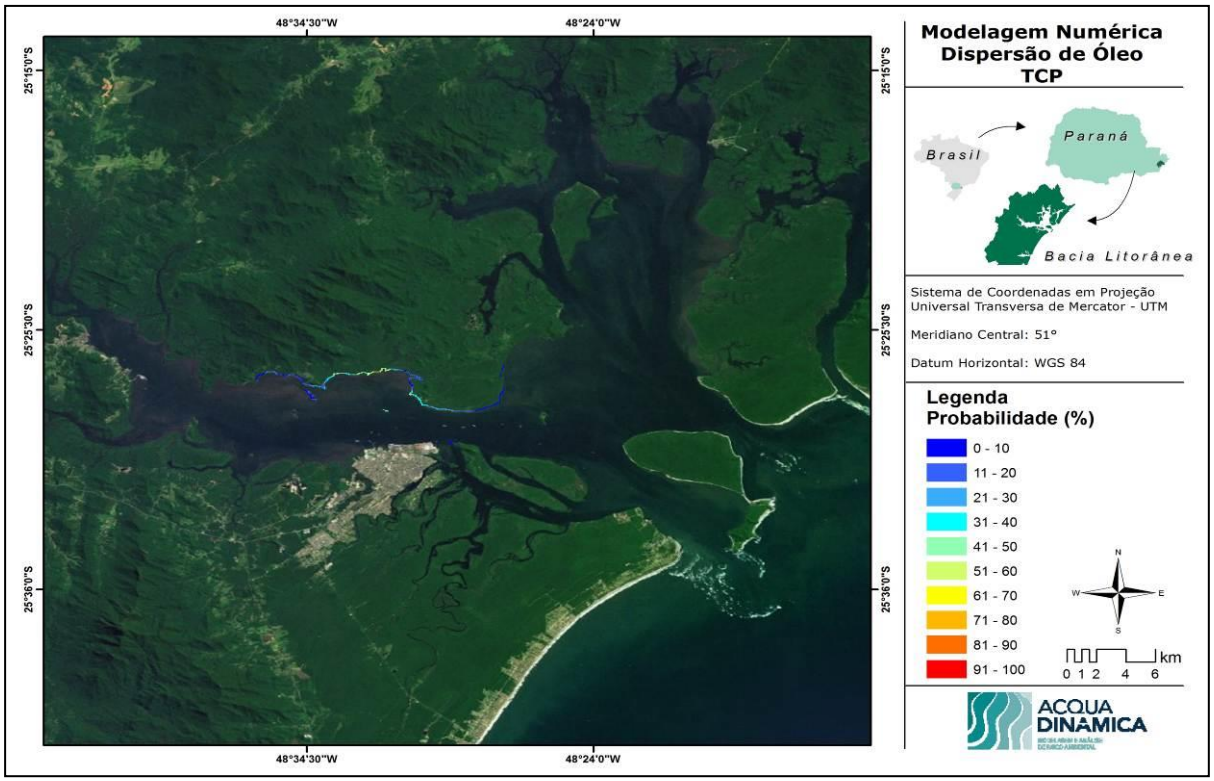

Figura 26. Probabilidades de toque de óleo na costa para um acidente com óleo tipo bunker ocorrendo durante o verão no píer do TCP, com derrame de 8 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

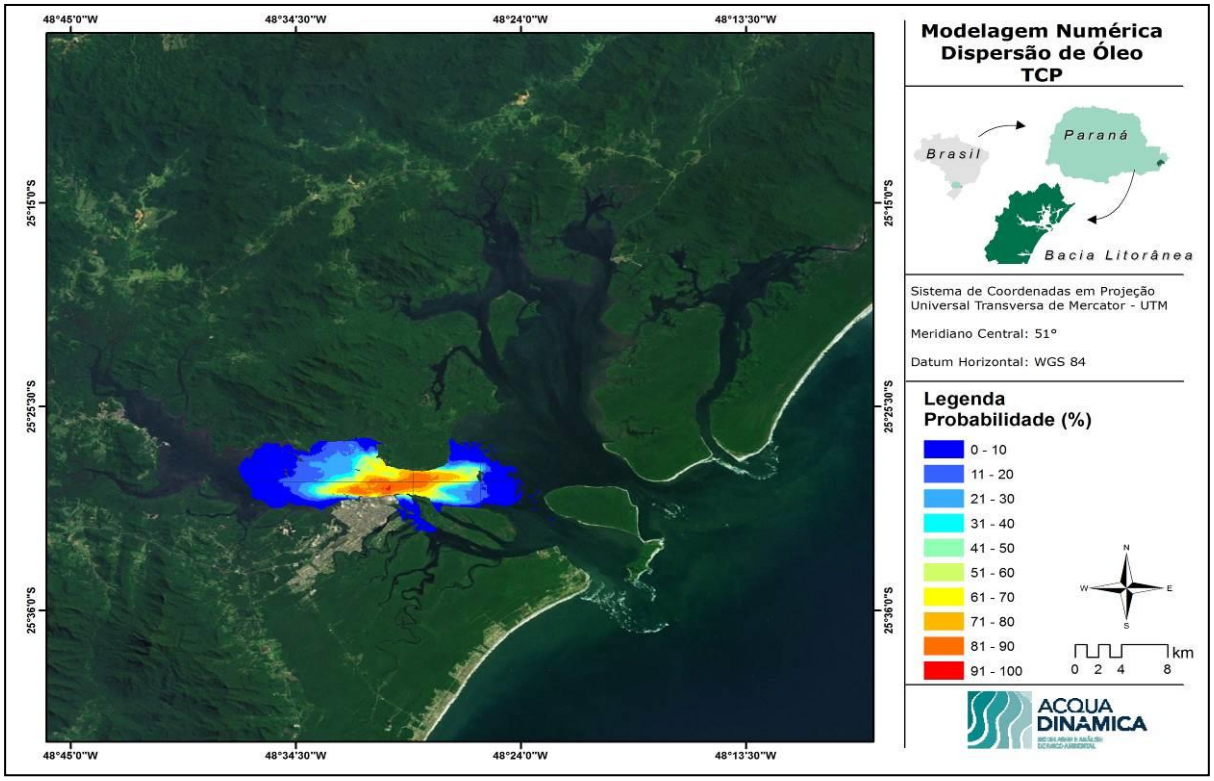

Figura 27. Contornos de probabilidade de óleo tipo bunker na água para um acidente ocorrendo durante o verão no píer do TCP, com derrame de 200 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

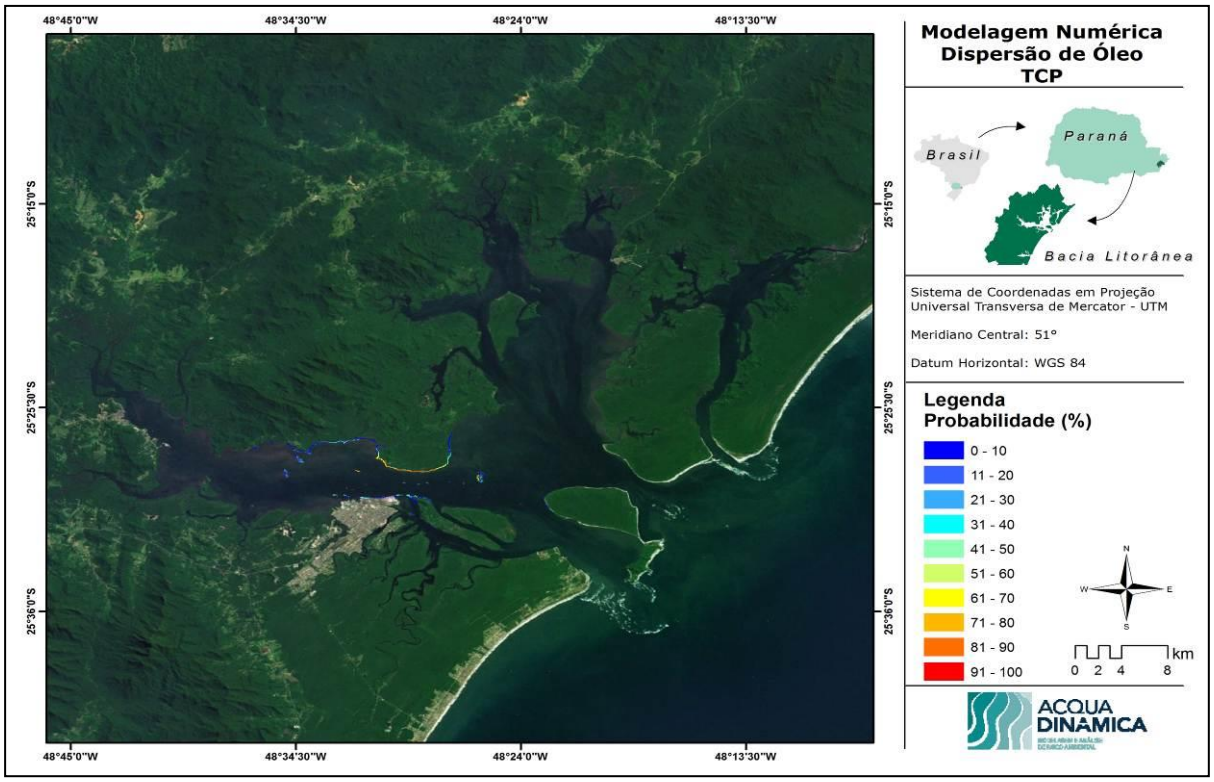

Figura 28. Probabilidades de toque de óleo na costa para um acidente com óleo tipo bunker ocorrendo durante o verão no píer do TCP, com derrame de 200 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

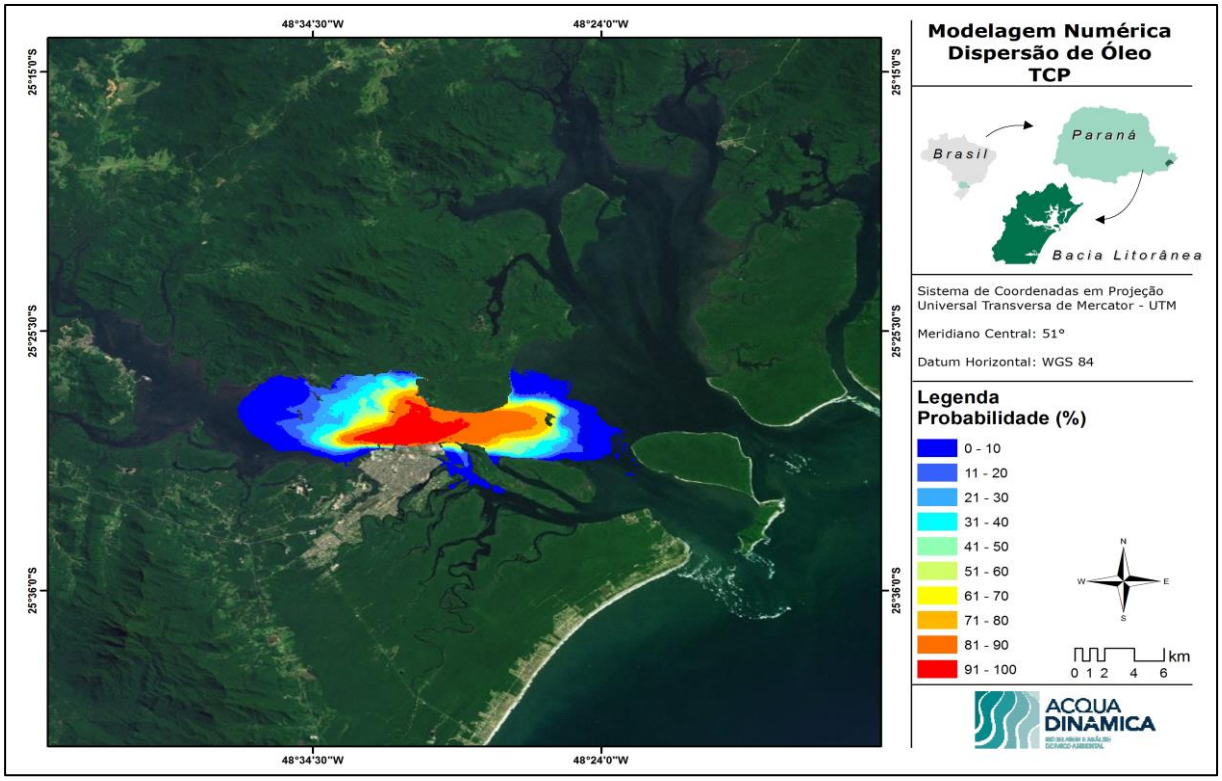

Figura 29. Contornos de probabilidade de óleo tipo bunker na água para um acidente ocorrendo durante o verão no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

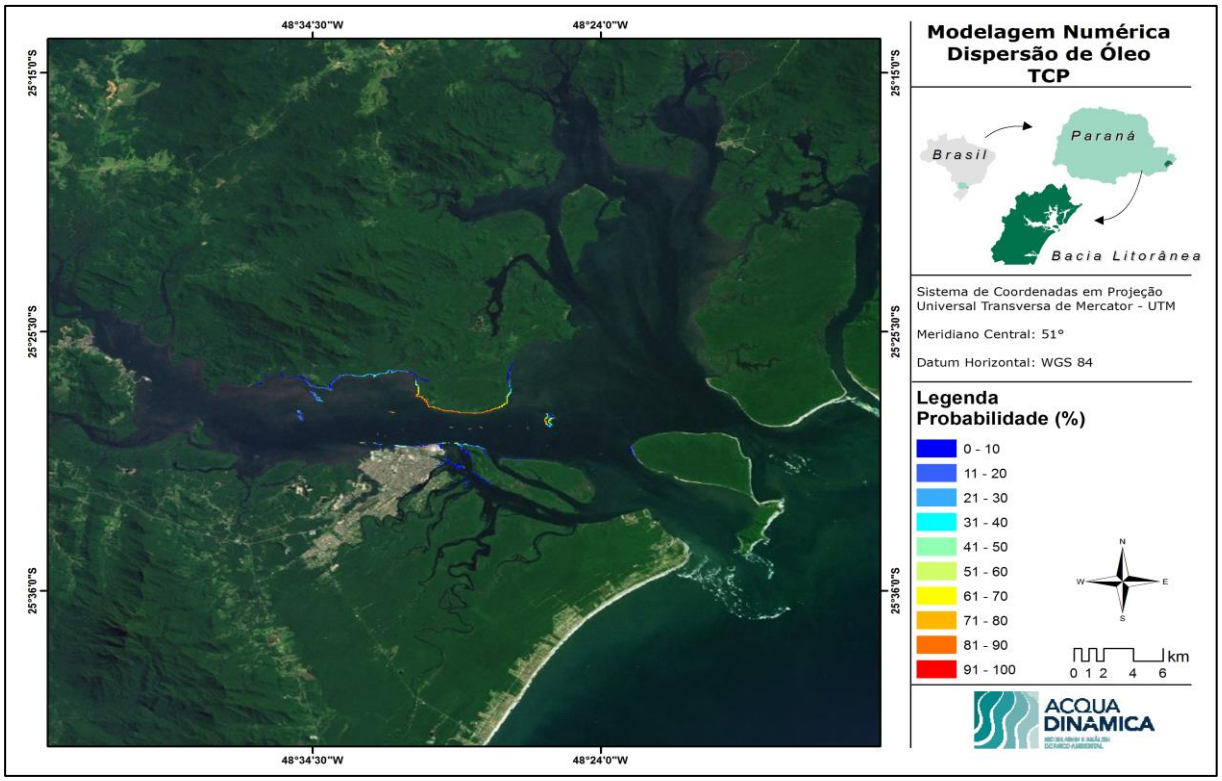

Figura 30. Probabilidades de toque de óleo na costa para um acidente com óleo tipo bunker ocorrendo durante o verão no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

6.2. SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS

As simulações determinísticas foram realizadas com o intuito de analisar diferentes condições ambientais para o momento do derrame do óleo. Os resultados serão separadas em condições maré quadratura e sizígia, sendo estes separados em baixamar, maré enchente, preamar e vazante.

Para todos estes cenários foram consideradas condições de vento provenientes de sudeste, leste e nordeste, devido a serem os ventos predominantes na área de estudo.

6.2.1. Condição de maré em Quadratura

As Figuras 31 a 42 apresentam os resultados dos cenários determinísticos com maré de quadratura. Para a condição de vento Nordeste os resultados demonstraram que o óleo tende a se concentrar na porção sul da baía de Paranaguá em função do vento que empurra o óleo nesta direção, sendo que o

momento do início do vazamento em função da maré influencia na extensão de toque do óleo na costa.

Para condições de maré de quadratura e vento Leste, observa-se que o óleo tende a ser transportado mais para o interior da baía de Paranaguá, exceto na condição de maré vazante no início do vazamento do óleo.

Com a condição de vento Sudeste observa-se uma situação oposta a situação de vento Nordeste, sendo que o óleo tende a se deslocar para a porção norte da baía de Paranaguá.

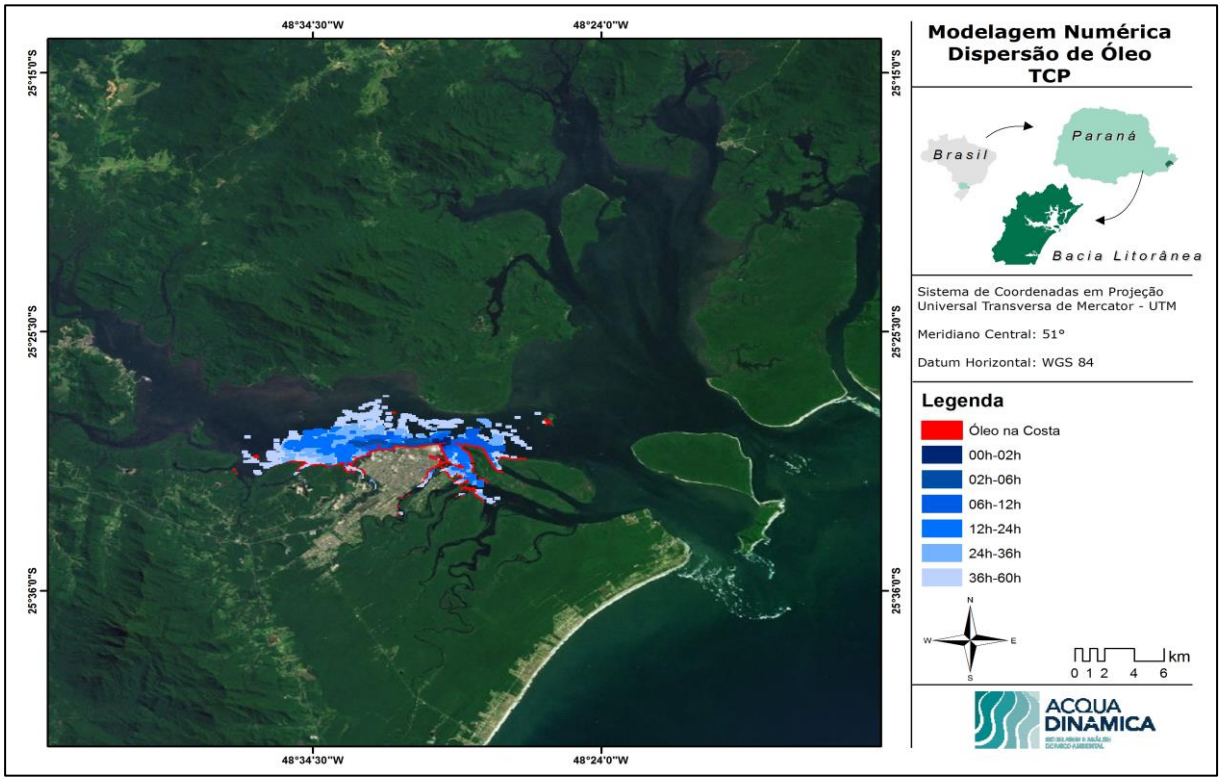

Figura 31. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré baixamar de quadratura e vento NE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

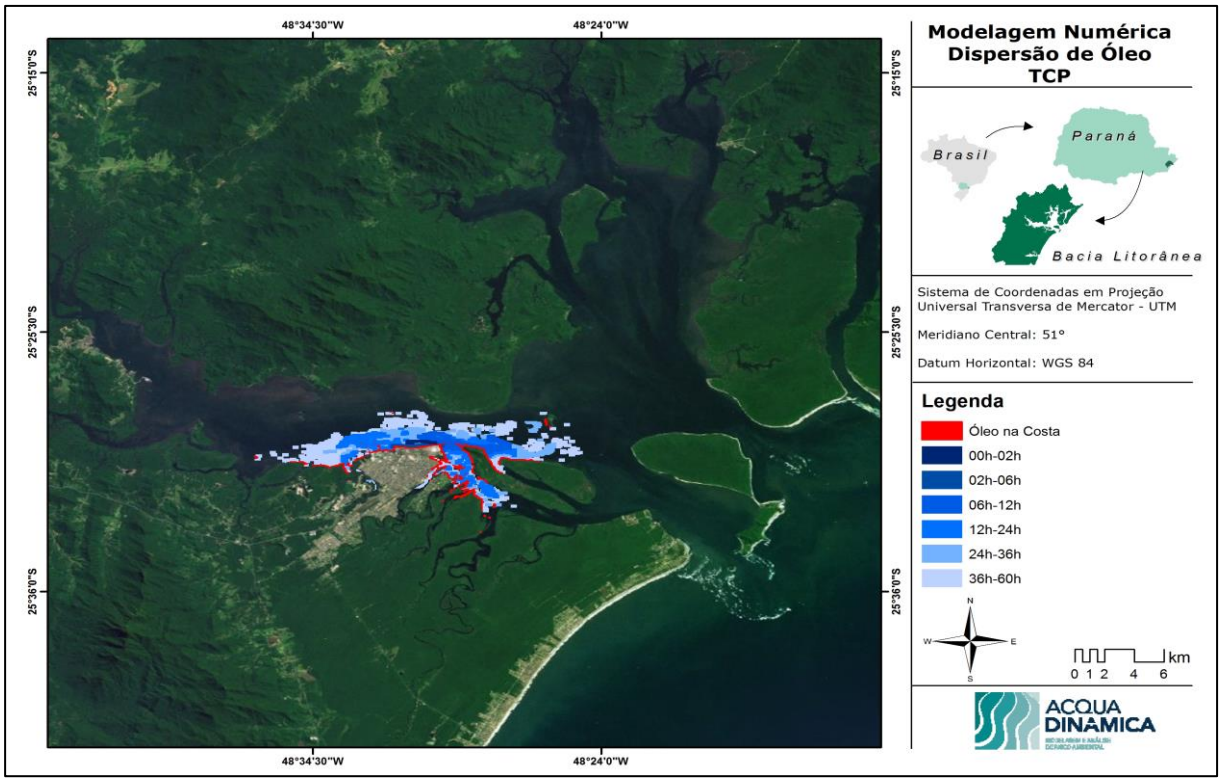

Figura 32. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré enchente de quadratura e vento NE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

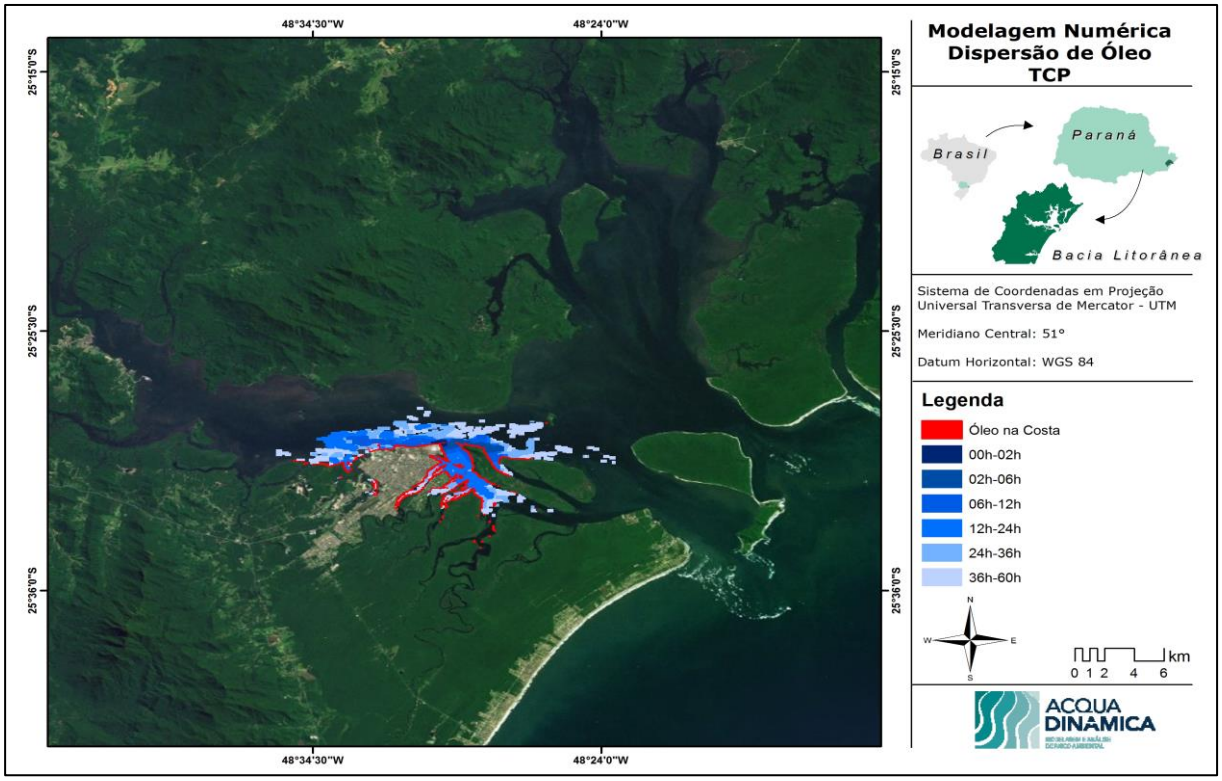

Figura 33. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré preamar de quadratura e vento NE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

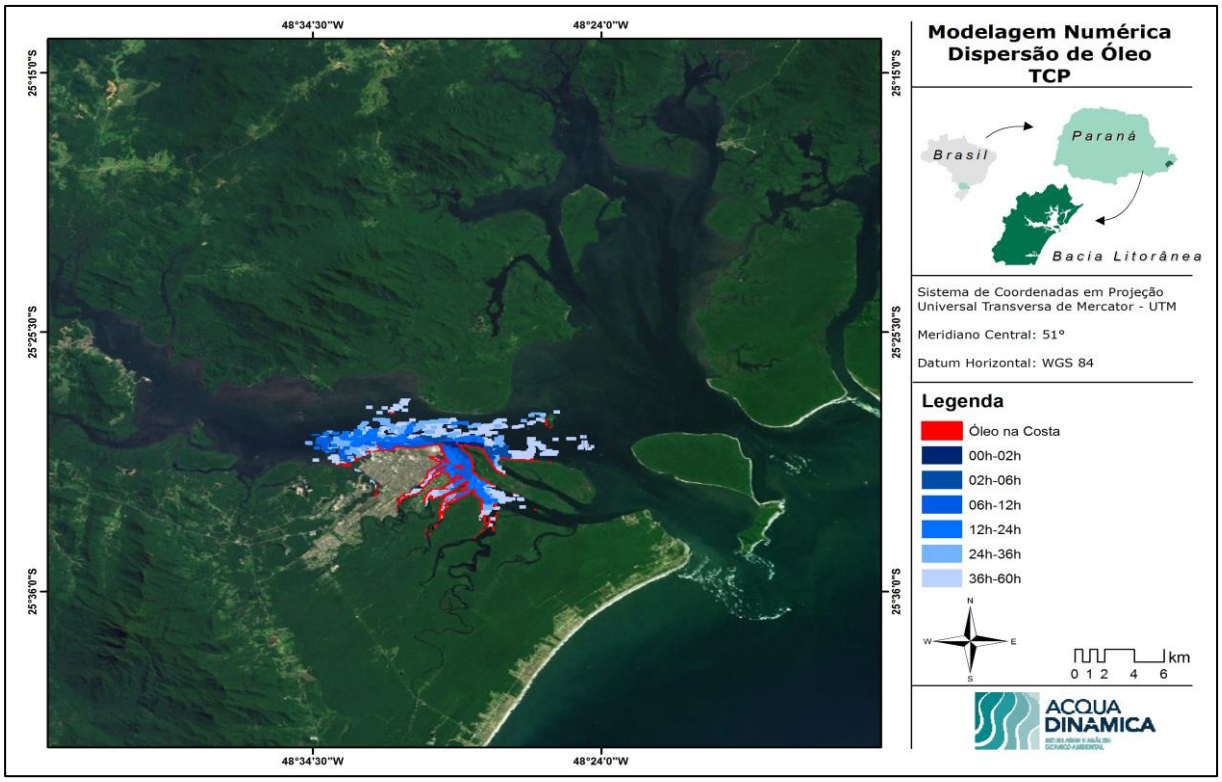

Figura 34. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré vazante de quadratura e vento NE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

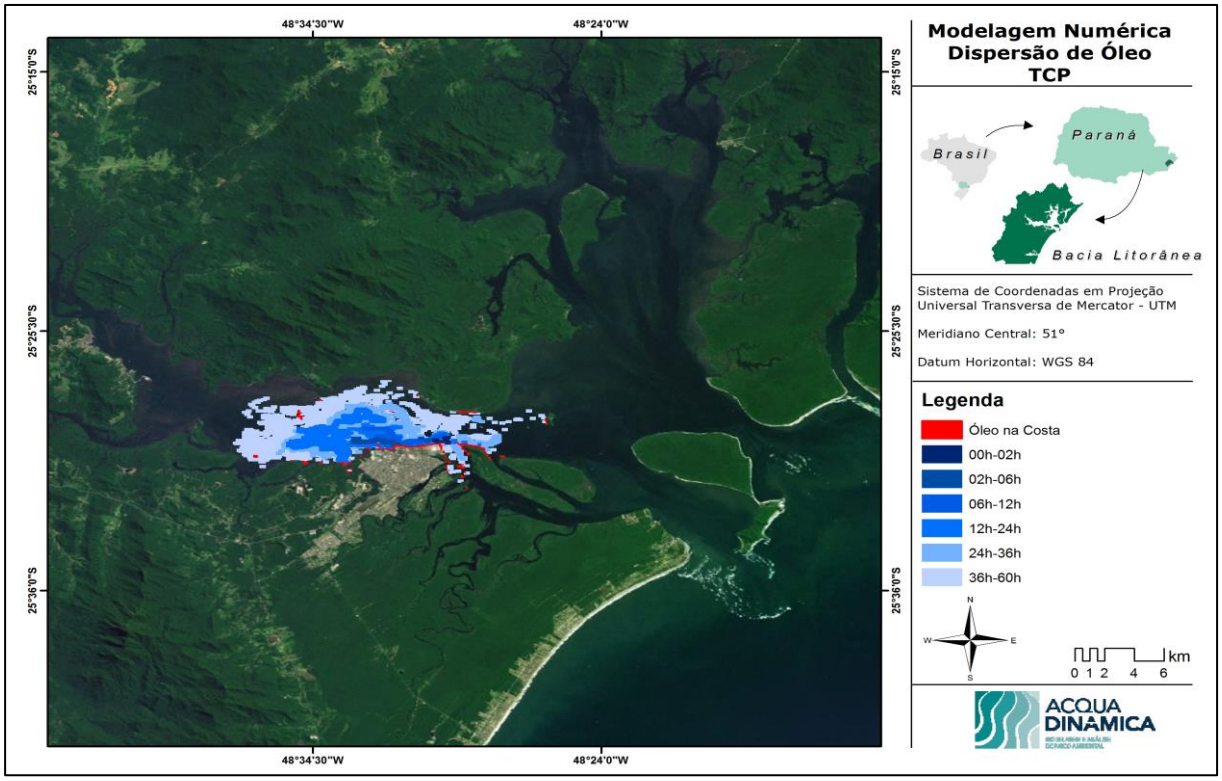

Figura 35. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré baixamar de quadratura e vento E no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

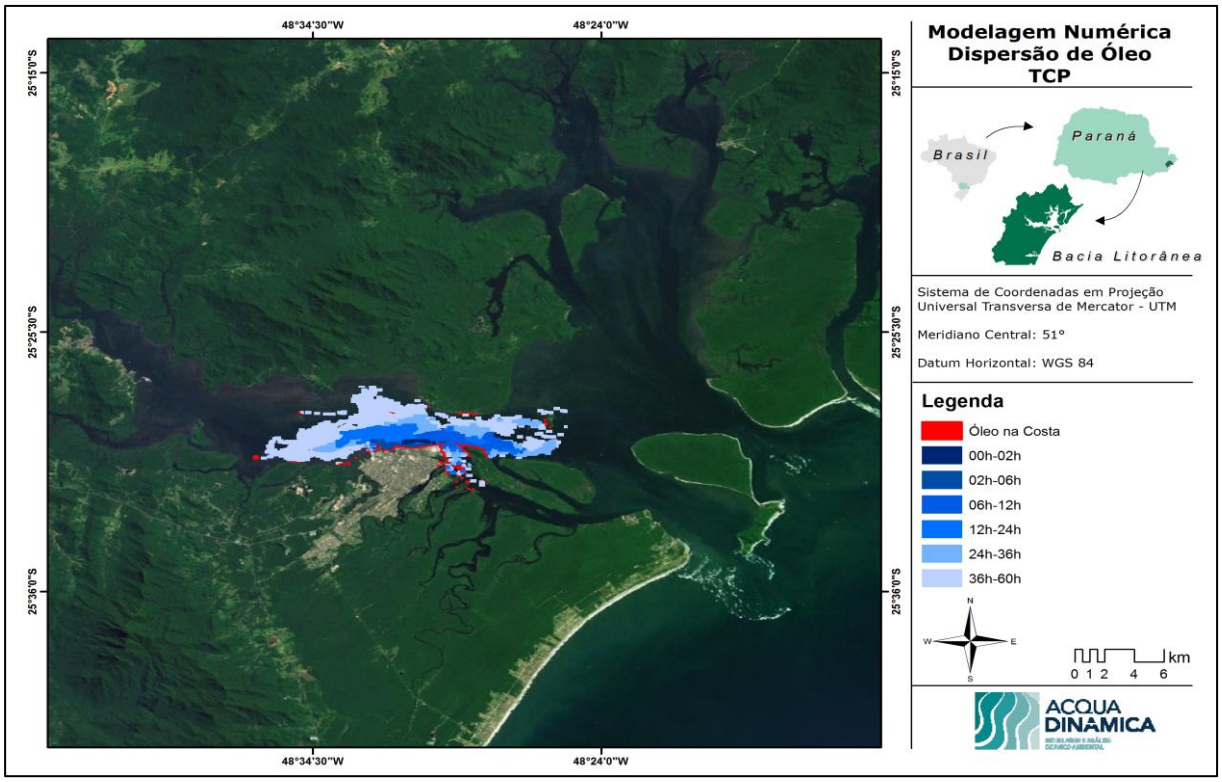

Figura 36. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré enchente de quadratura e vento E no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

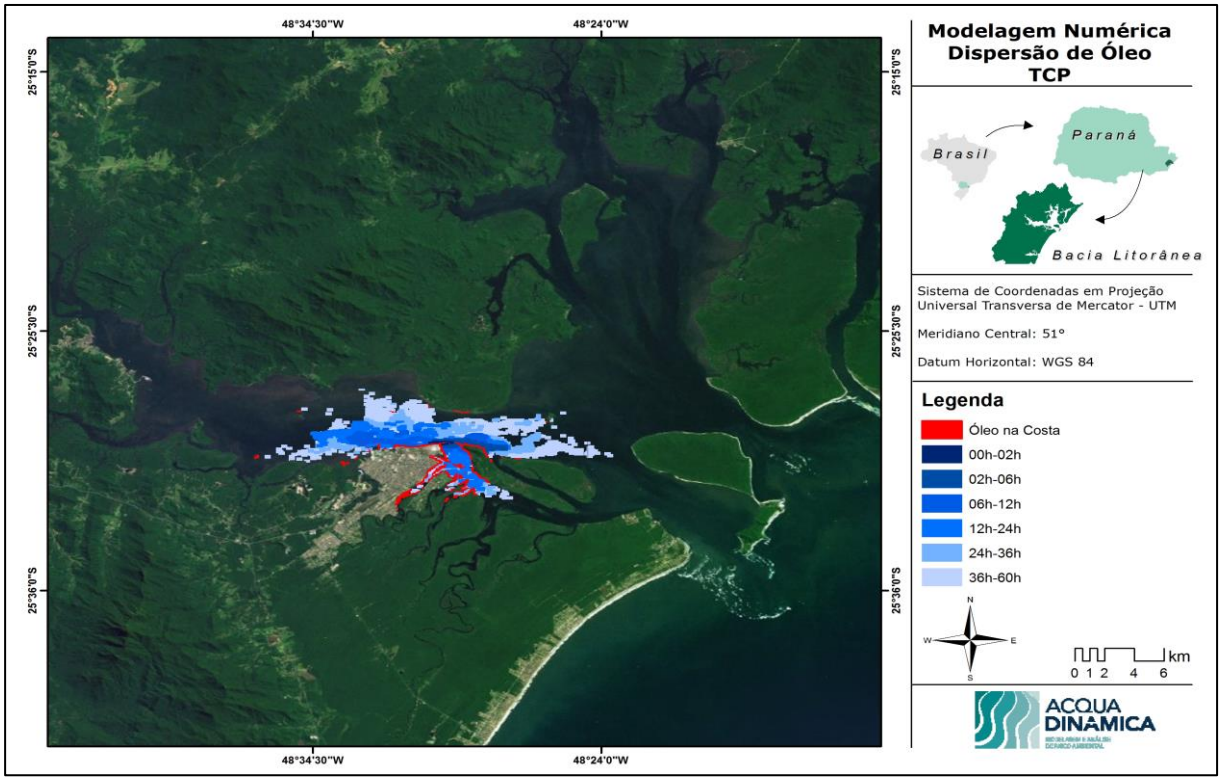

Figura 37. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré preamar de quadratura e vento E no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

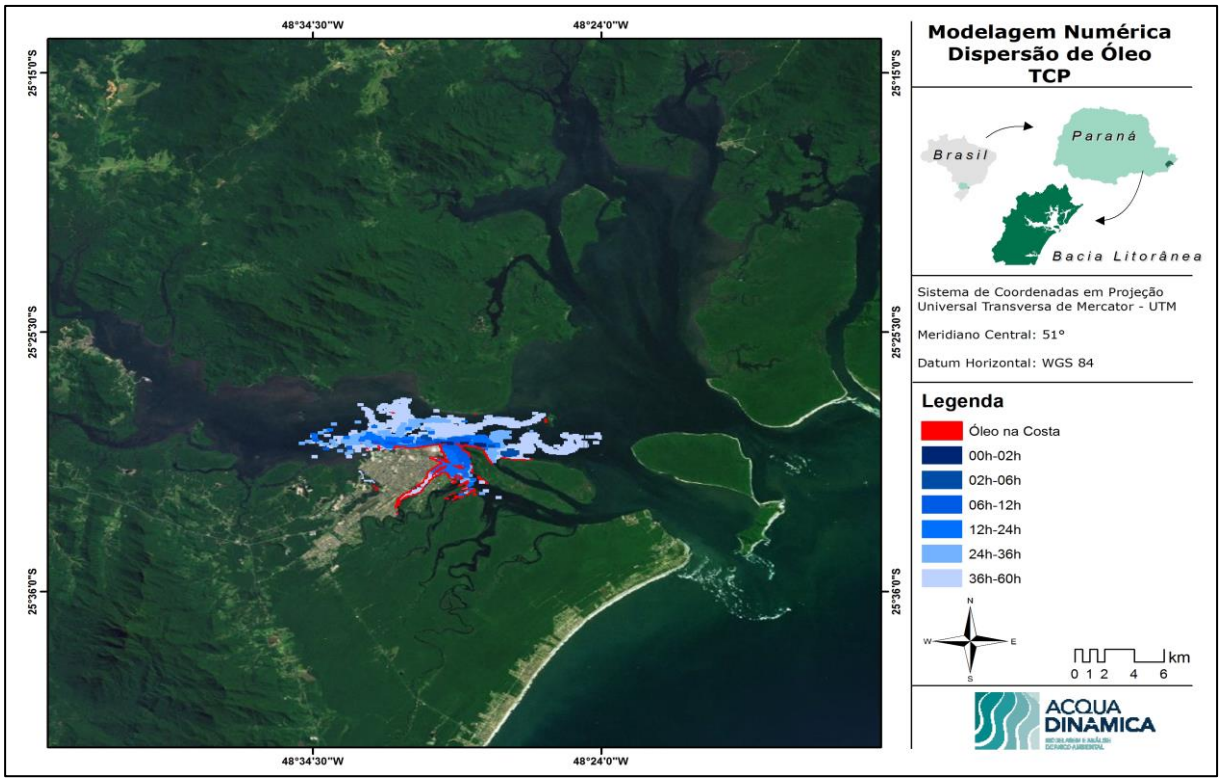

Figura 38. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré vazante de quadratura e vento E no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

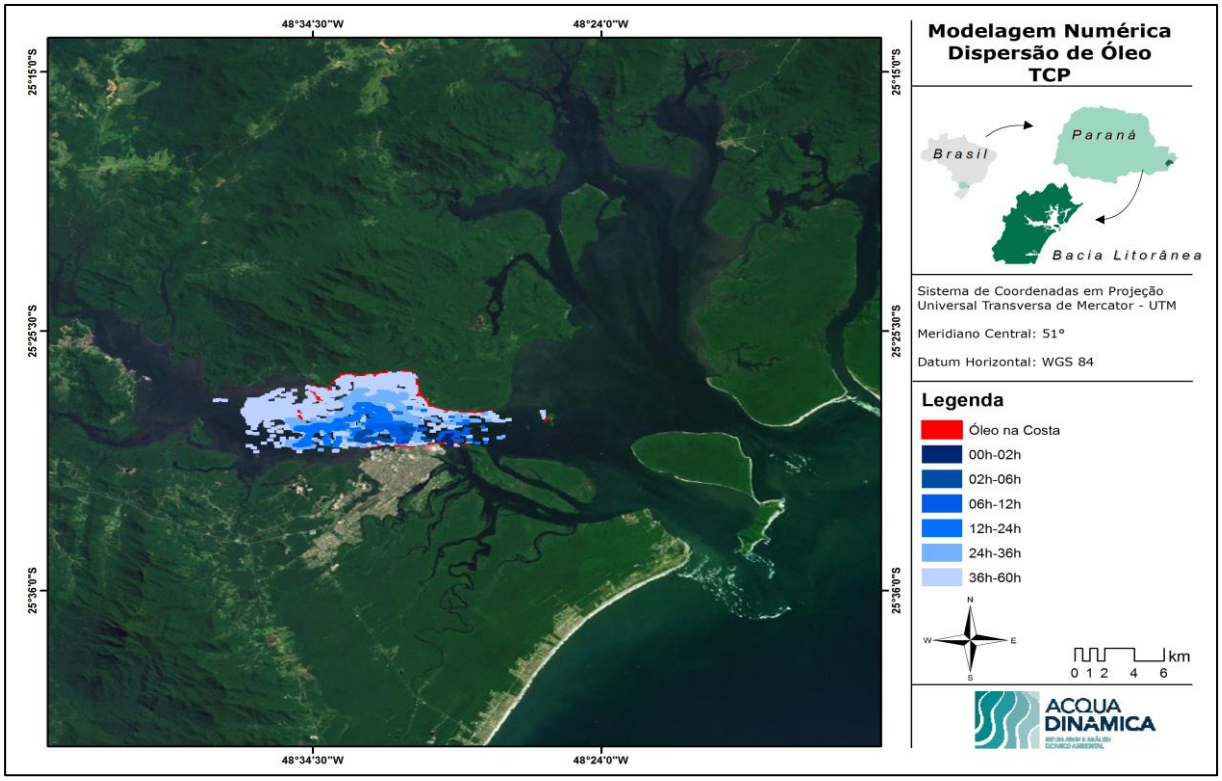

Figura 39. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré baixamar de quadratura e vento SE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

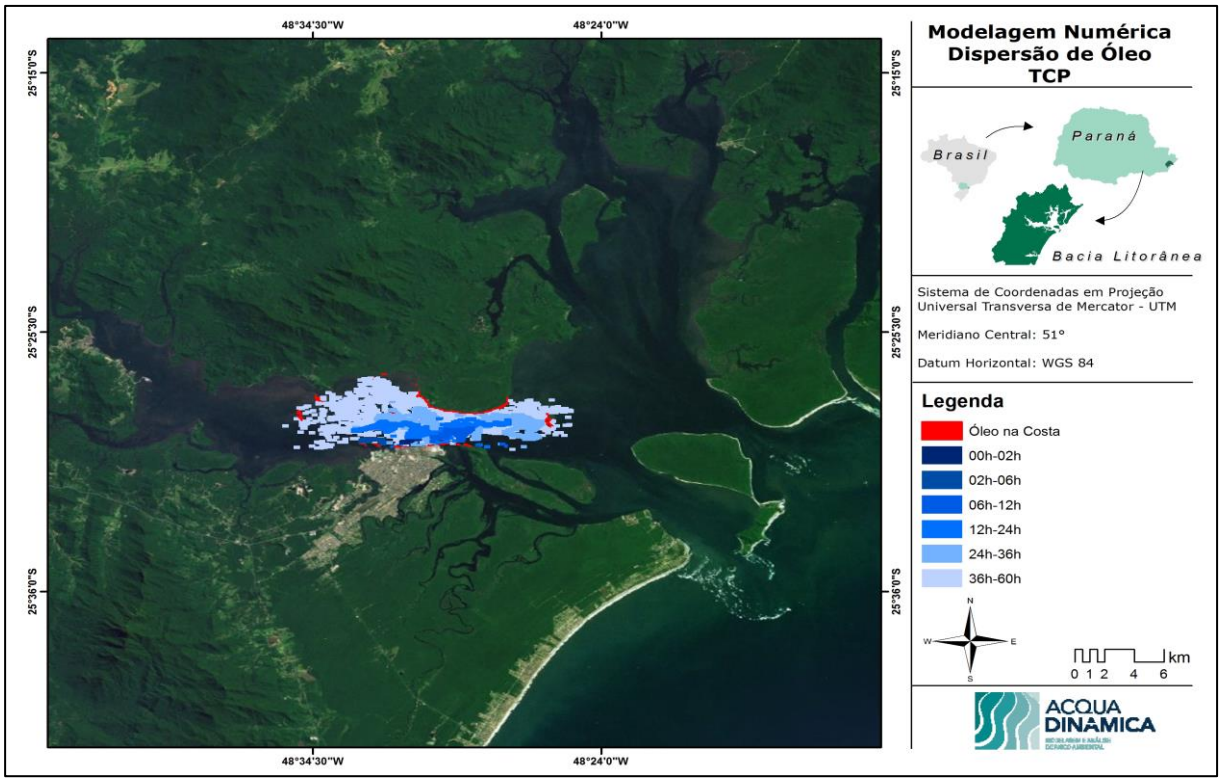

Figura 40. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré enchente de quadratura e vento SE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

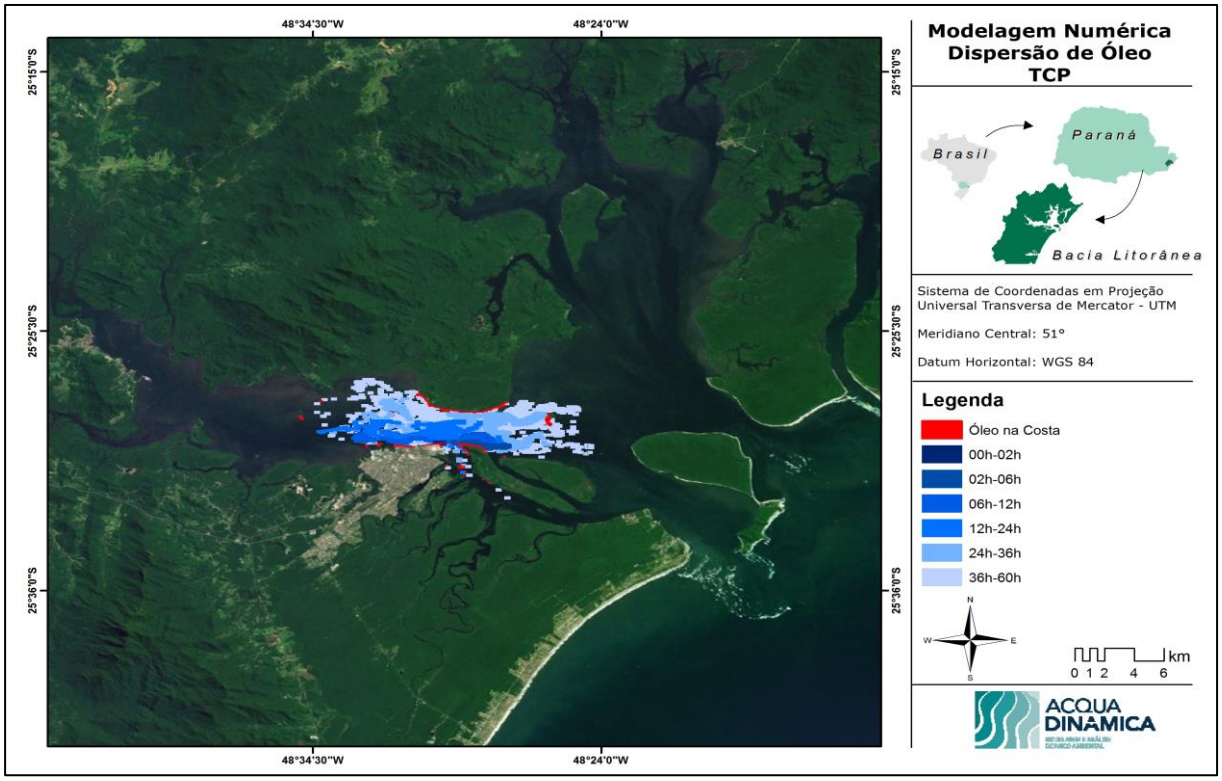

Figura 41. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré preamar de quadratura e vento SE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

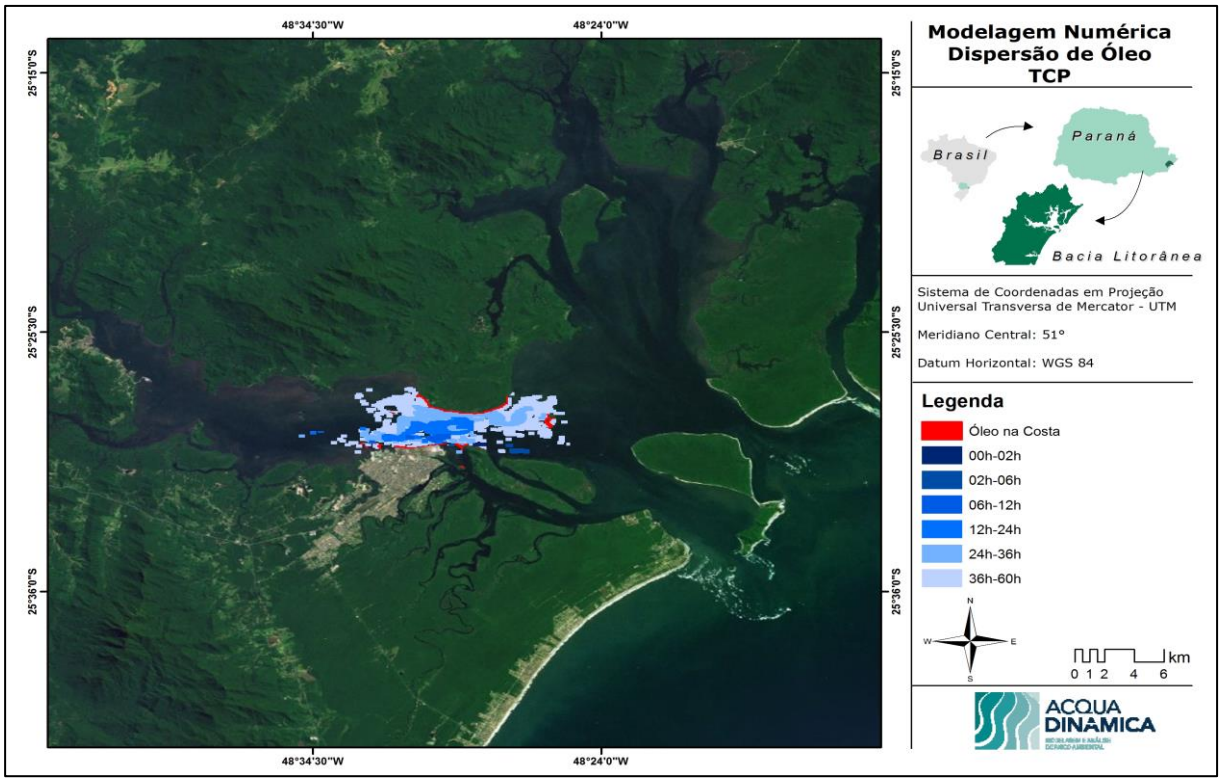

Figura 42. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré vazante de quadratura e vento SE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

6.2.2. Condição de maré em Sizígia

As Figuras 43 a 54 apresentam os resultados dos cenários determinísticos com maré de sizígia. Como ocorre na maré de quadratura, o vento Nordeste tende a concentrar o óleo na porção sul da baía de Paranaguá em função do vento nordeste, sendo que o momento do início do vazamento em função da maré influencia na extensão de toque do óleo na costa, e devido a maior intensidade da corrente da maré, o óleo tende a alcançar uma maior área a montante e jusante do CEP, chegando a atingir o Oceâno Atlântico.

Para condições de maré de sizígia e vento Leste constante, observa-se que o óleo tende a ser transportado e atingir a baía de Antonina e alcança o Oceano Atlântico através do canal da Galheta.

Com a condição de vento Sudeste, observa-se uma situação semelhante a condição de vento de Leste, porém, com uma maior área de toque na costa no norte da baía de Paranaguá.

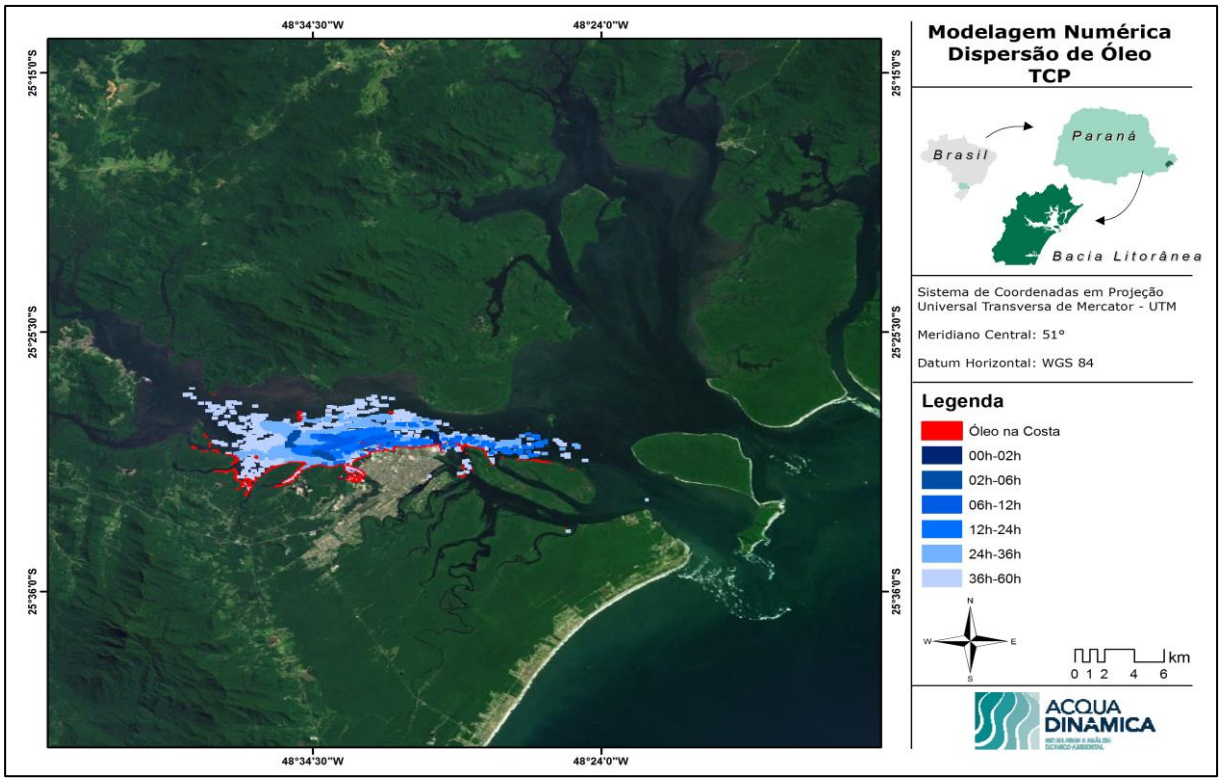

Figura 43. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré baixamar de sizígia e vento NE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

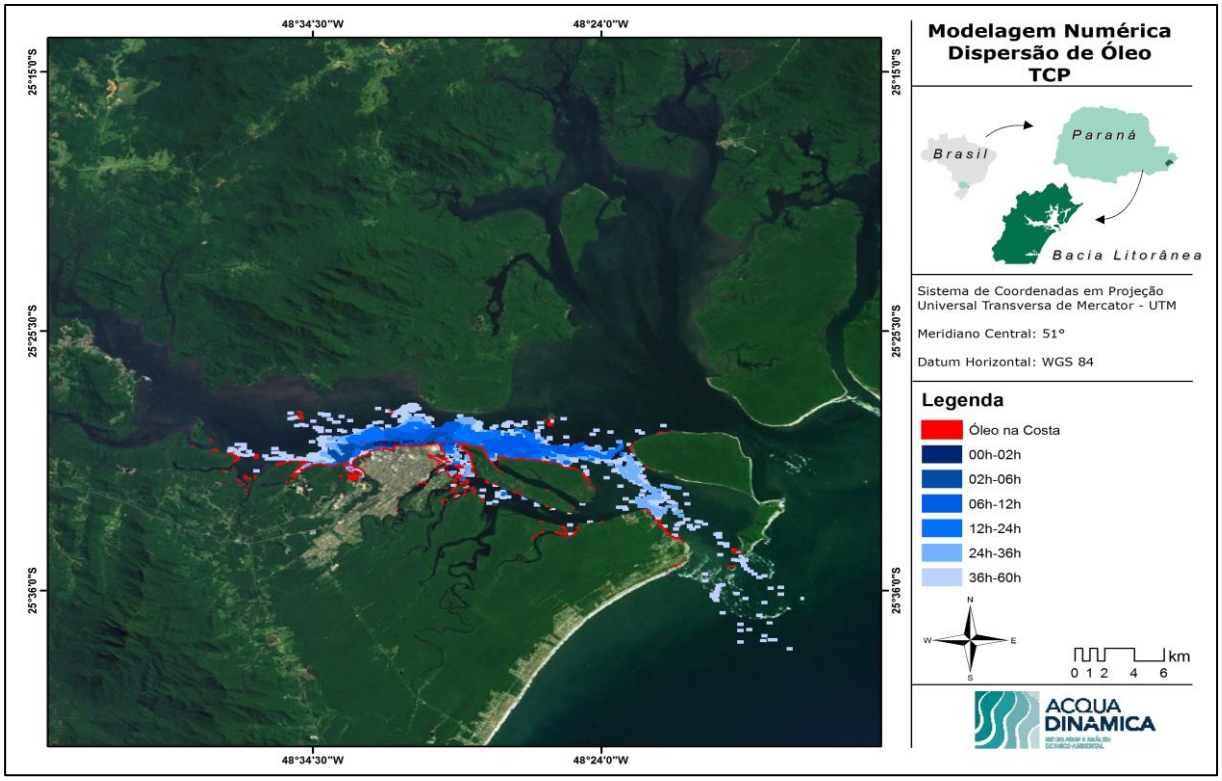

Figura 44. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré enchente de sizígia e vento NE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

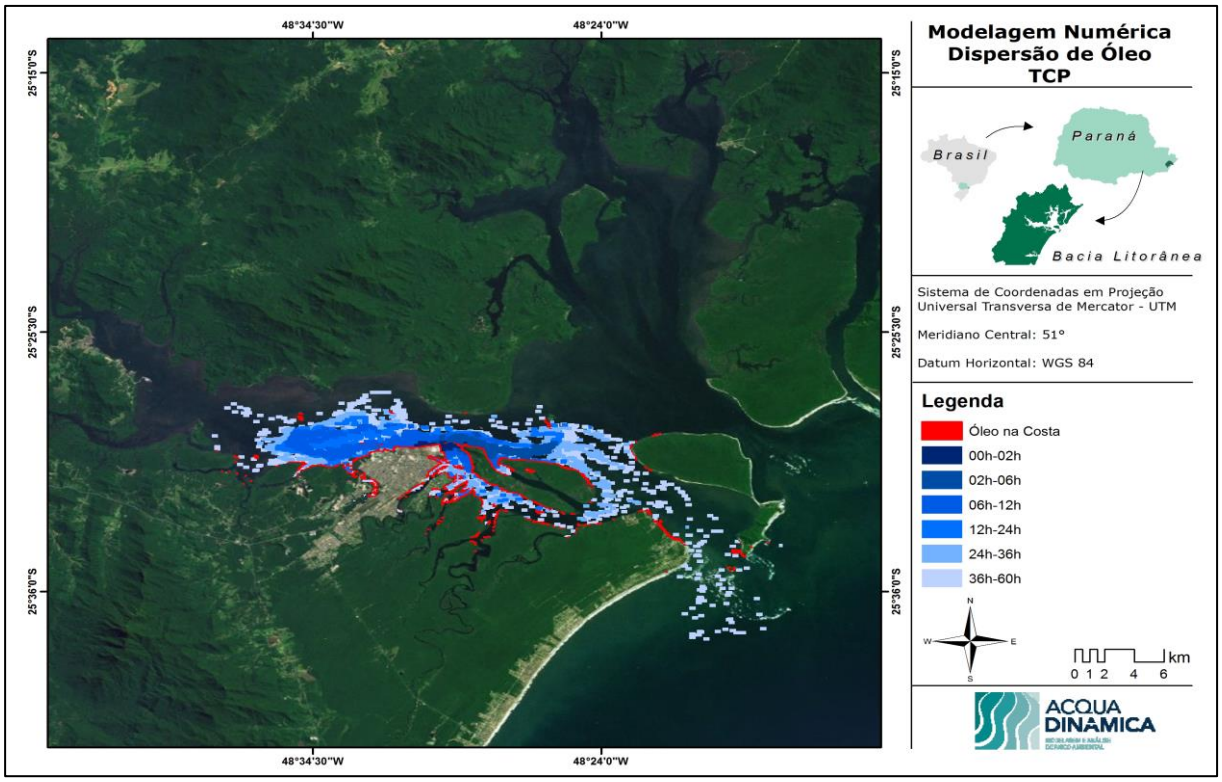

Figura 45. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré preamar de sizígia e vento NE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

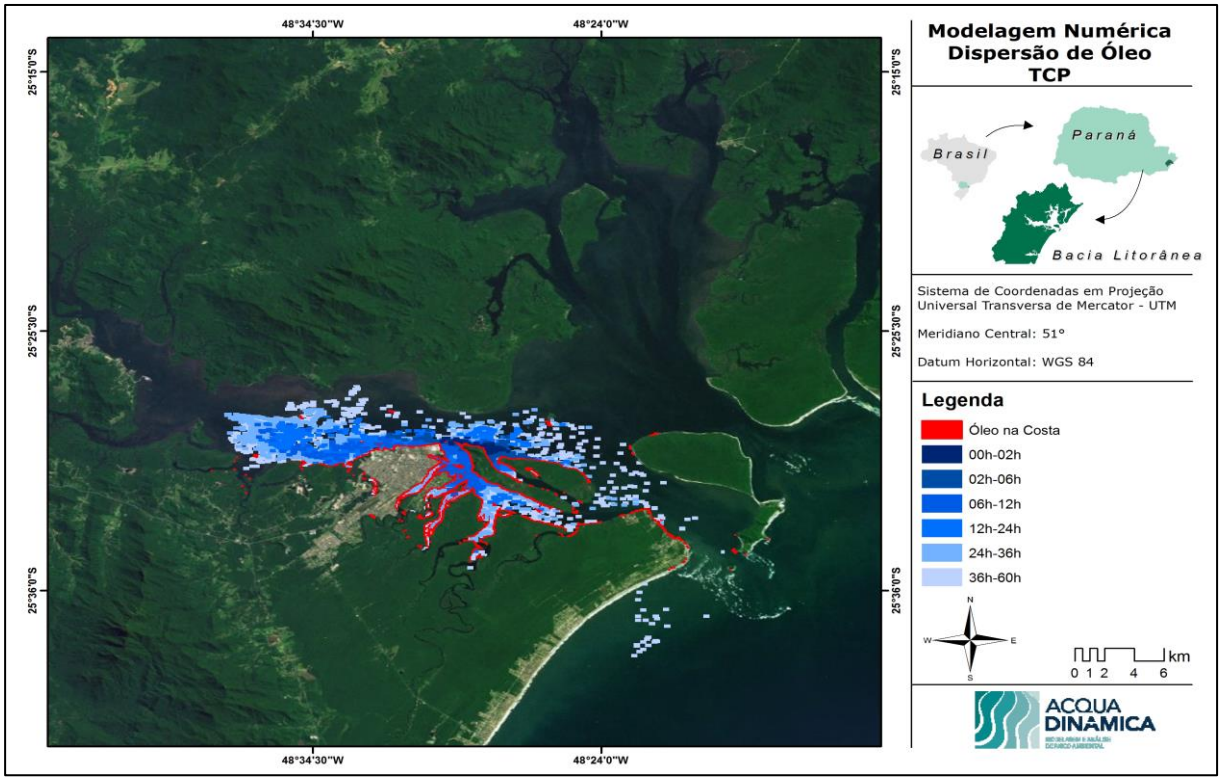

Figura 46. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré vazante de sizígia e vento NE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

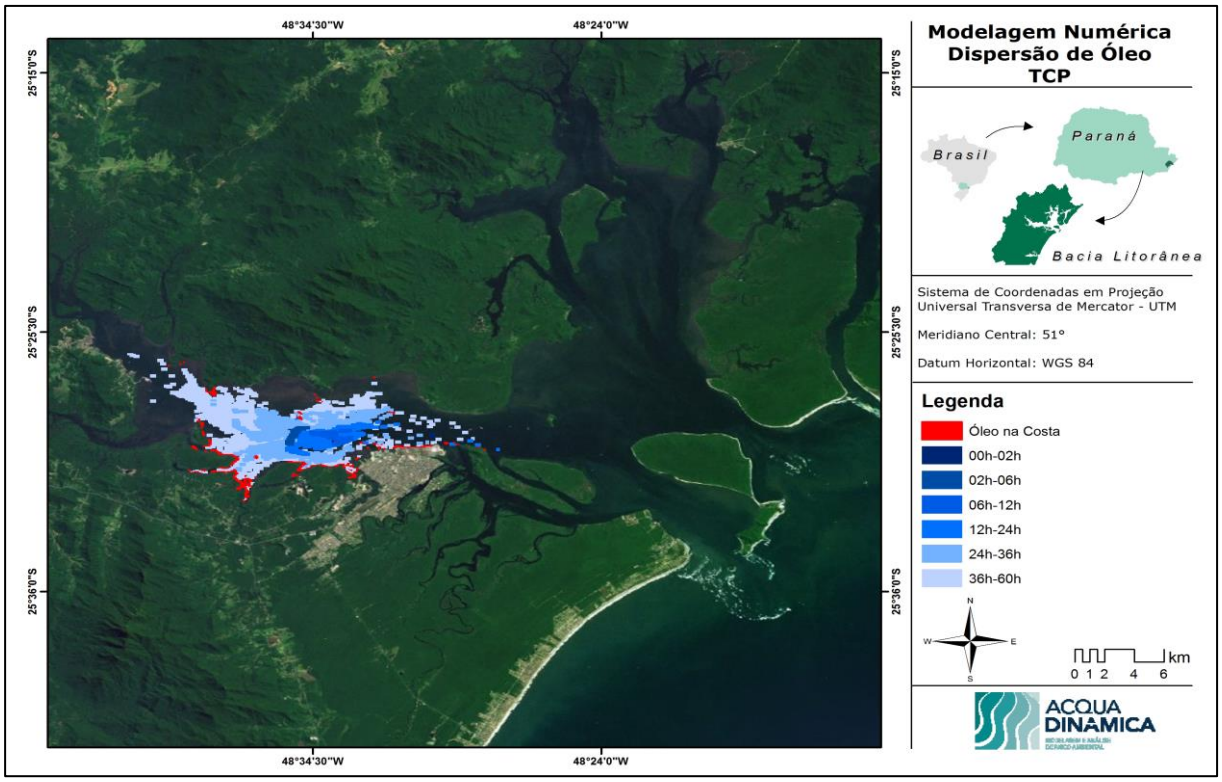

Figura 47. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré baixamar de sizígia e vento E no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

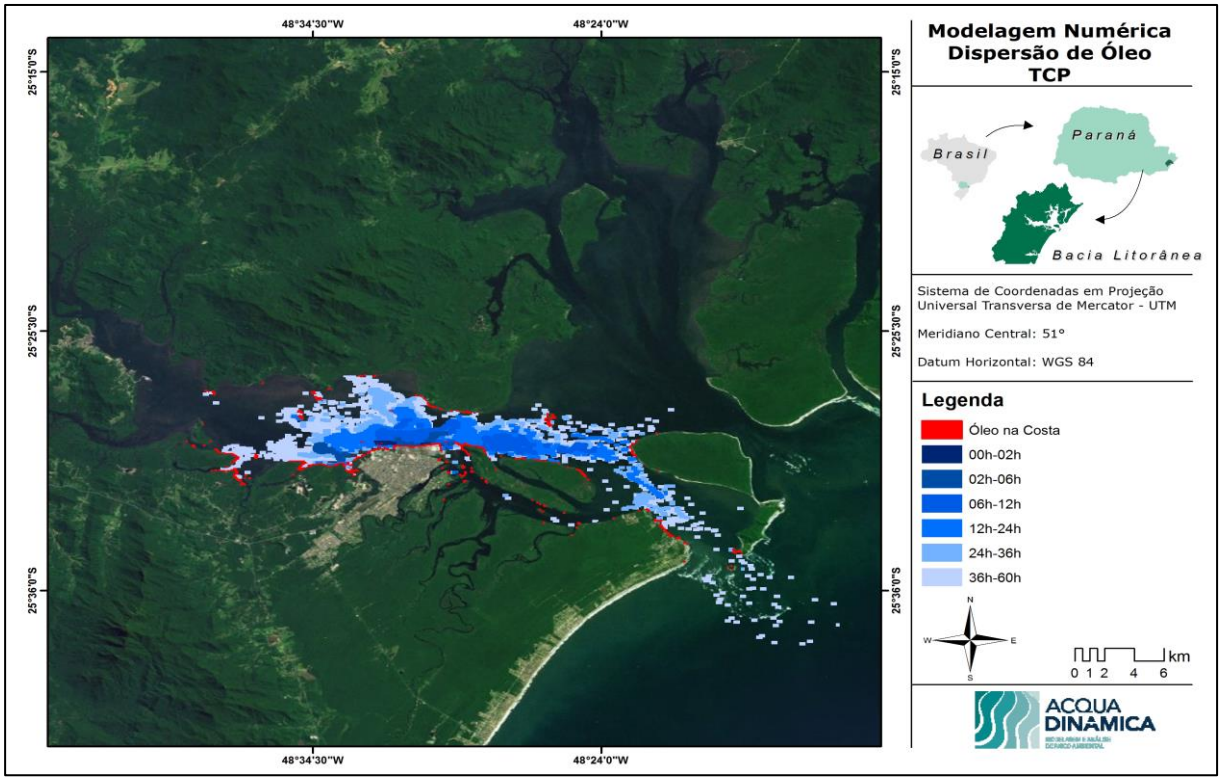

Figura 48. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré enchente de sizígia e vento E no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

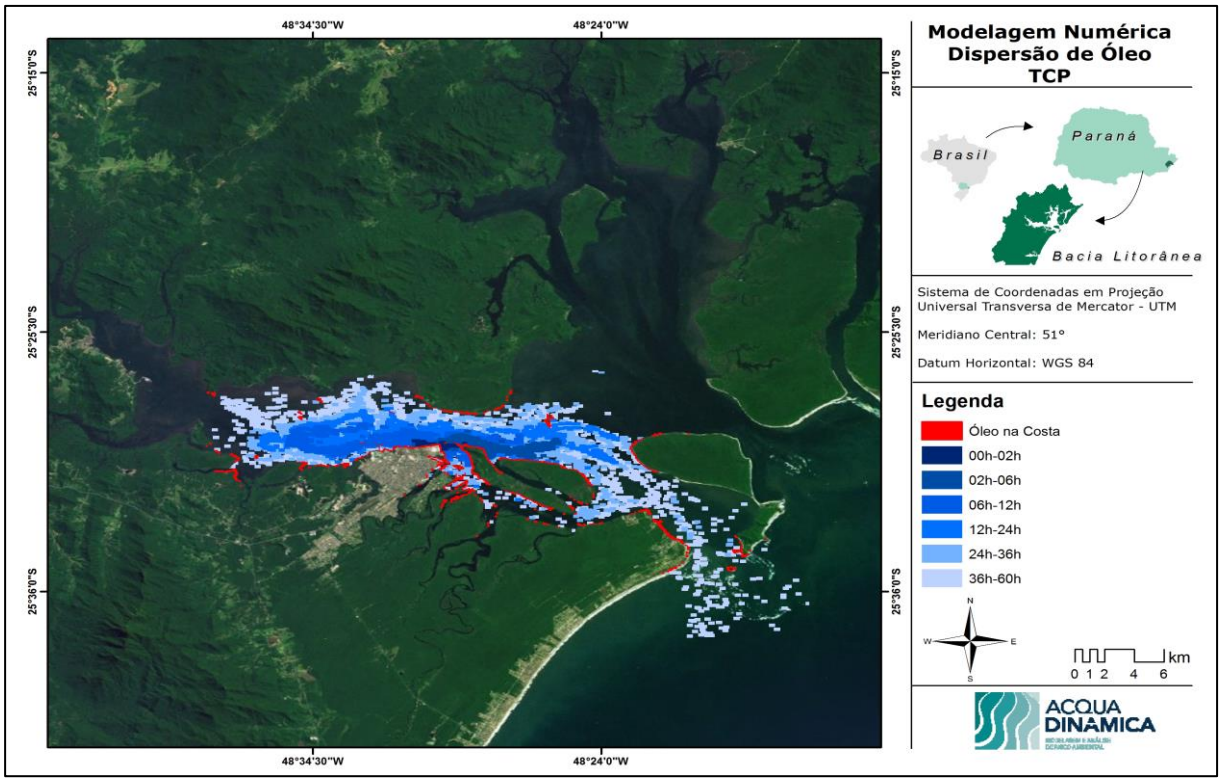

Figura 49. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré preamar de sizígia e vento E no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

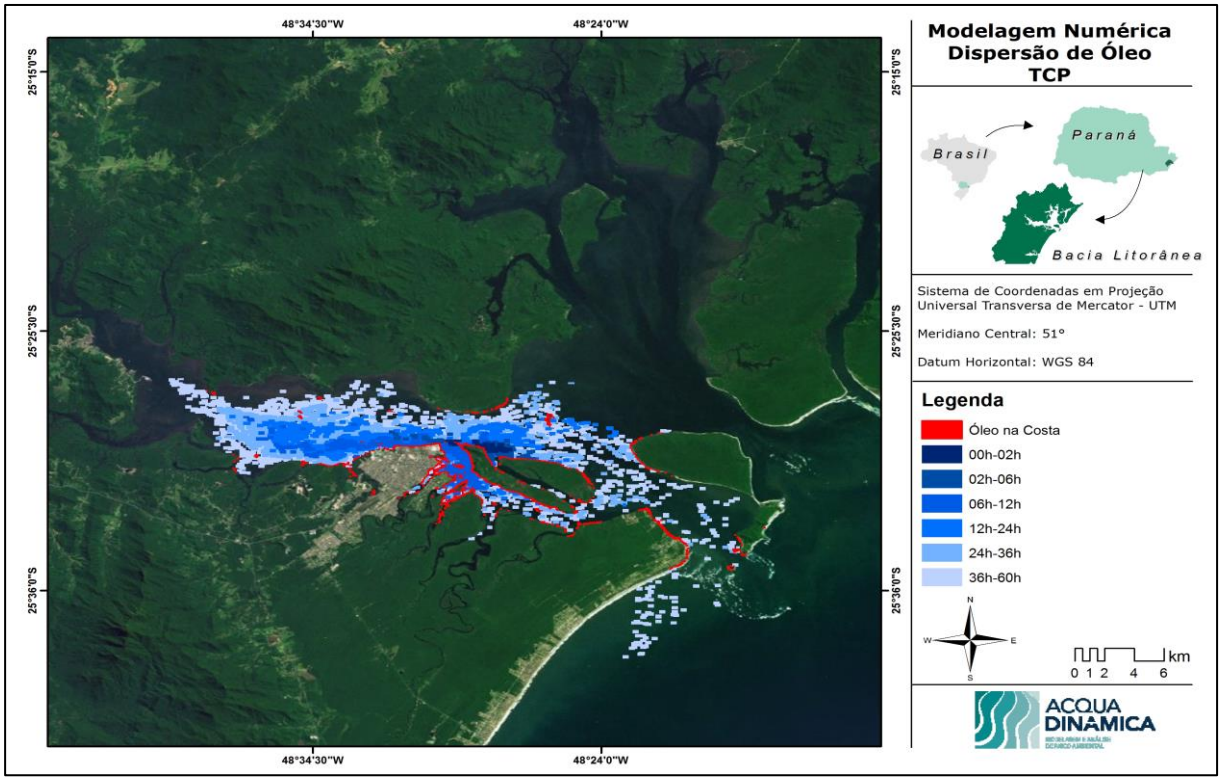

Figura 50. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré vazante de sizígia e vento E no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

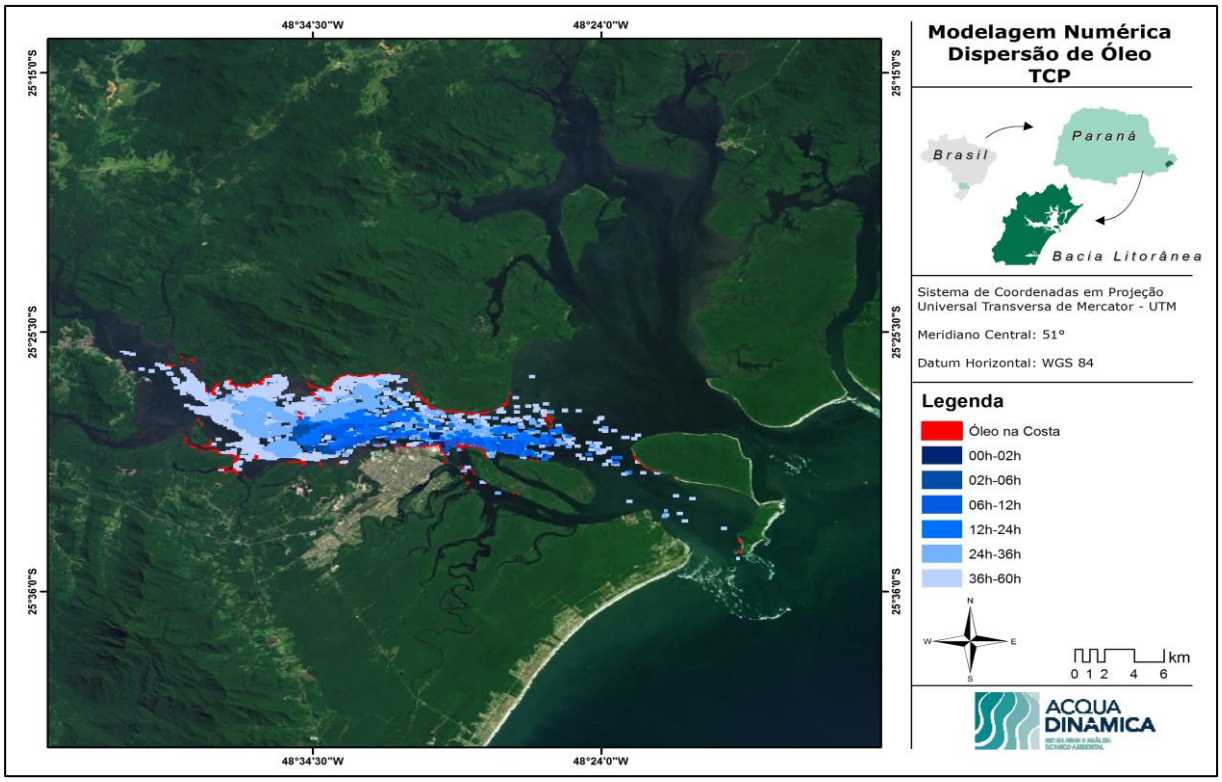

Figura 51. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré baixamar de sizígia e vento SE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

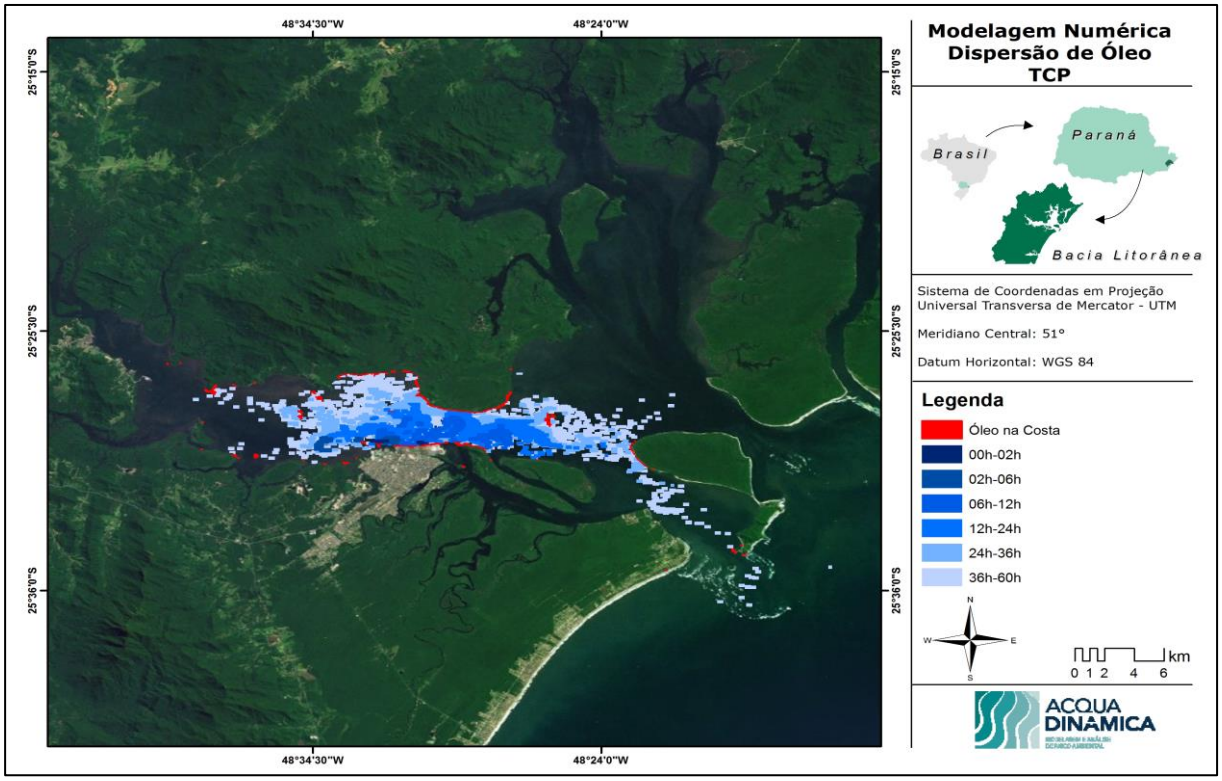

Figura 52. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré enchente de sizígia e vento SE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

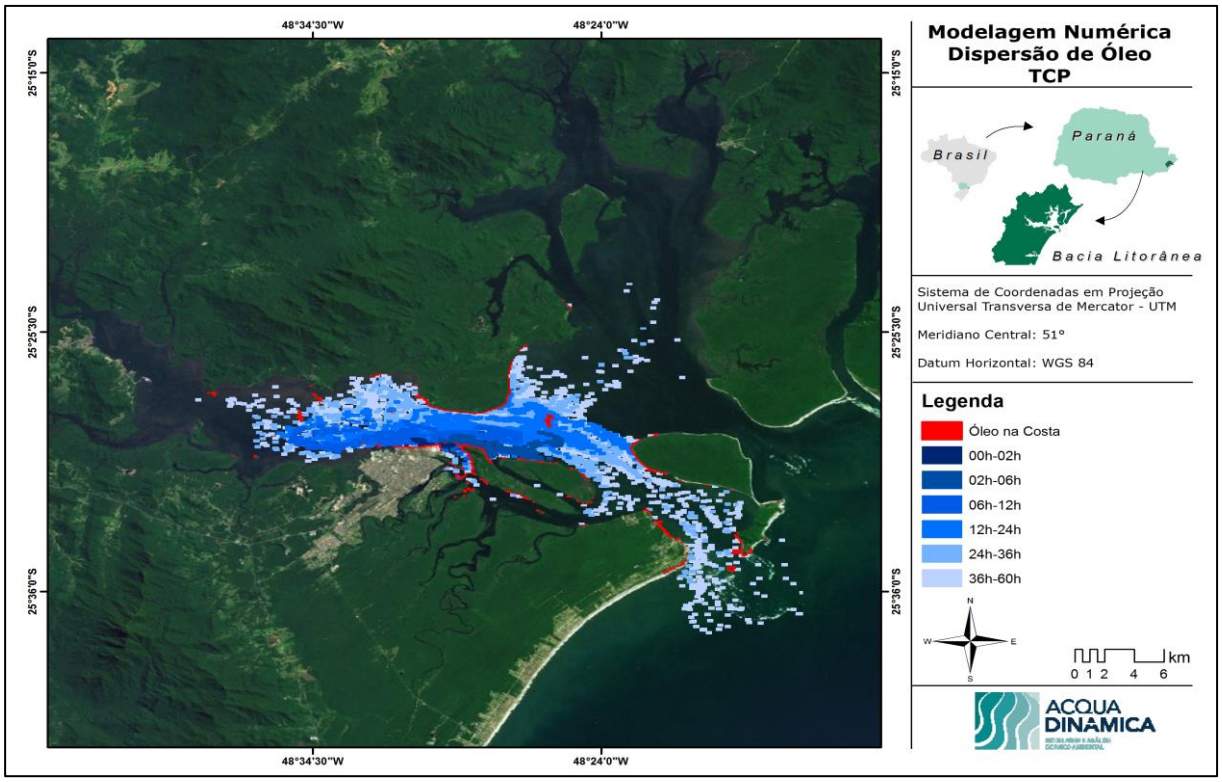

Figura 53. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré preamar de sizígia e vento SE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

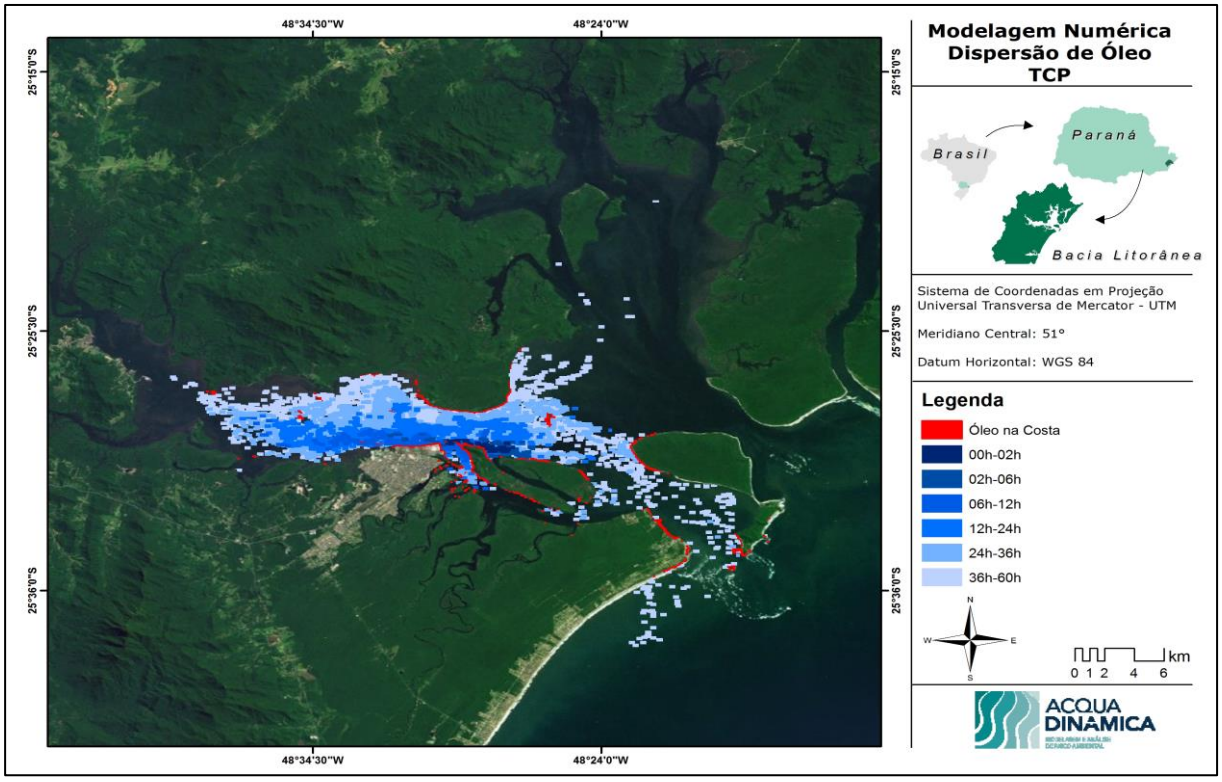

Figura 54. Contornos de tempo de deslocamento de óleo tipo bunker na água para uma condição de maré vazante de sizígia e vento SE no píer do TCP, com derrame de 7.050 m³ (instantâneo), após 60 horas de simulação.

7. CONCLUSÕES DA MODELAGEM DE DISPERSÃO DE ÓLEO

Este estudo tem a finalidade de subsidiar a ACQUAPLAN Tecnologia e Consultoria Ambiental Ltda. na elaboração do Plano de Emergência Individual (PEI) do Terminal de Contêineres de Paranaguá - TCP. Assim, apresentam-se os estudos referentes às simulações numéricas para a dispersão de óleo, considerando a descarga instantânea de um volume de cenário de pior caso, a partir do tanque de combustível da embarcação.

Para determinar os intervalos de probabilidade de ocorrência do óleo na água e na costa, foram conduzidas simulações probabilísticas com Óleo Bunker C, considerando duas condições sazonais (verão e inverno), e três volumes de derrame, 8 m^3, 200 m^3 e 7.050 m^3 (pior caso). O critério de parada utilizado foi o tempo de 60 horas para o acompanhamento das manchas de óleo, conforme especificado na Resolução CONAMA N° 398/08. Utilizou-se o modelo OSCAR (*Oil Spill Contingency and Response*), desenvolvido pela SINTEF (Fundação de Pesquisa Científica e Industrial do Instituto de Tecnologia da Noruega), para calcular a dispersão do óleo.

A caracterização dos padrões de circulação na região foi obtida a partir do sistema de modelos numéricos Delft3D, implementado pela ACQUADINÂMICA. O campo de vento utilizado para os processamentos do modelo hidrodinâmico e de deriva de óleo foi determinado a partir de campos analisados do modelo global NCEP/NCAR. A análise da modelagem hidrodinâmica demonstrou que o modelo implementado na ocasião conseguiu reproduzir de forma satisfatória as principais características da dinâmica da região.

Os resultados das simulações probabilísticas podem ser analisados sobre duas óticas principais, sazonalidade (verão e inverno) e hipótese acidental, que por sua vez, está intrínseco ao ponto de risco, produto e volume do vazamento.

Com relação à sazonalidade, observou-se que os cenários de inverno apresentaram os maiores valores de extensão de costa com probabilidade de toque e área superficial com probabilidade de ocorrência de óleo na água.

Verificou-se que este comportamento deve-se, principalmente, à ocorrência de ventos mais intensos no inverno ao verão. Para o pior cenário, considerando um derrame de 7.050 m^3 de óleo Bunker C, a maior extensão de costa atingida pelo óleo no verão foi de, aproximadamente, 66 km e no inverno, de 95 km, as menores extensões de costa atingidas para um derrame de 8 m^3 de óleo, foram de 38 e 70 km para verão e inverno respectivamente.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAMO, O. M., REED, M. & DALING, P. S., 1995: Evaluation of environmental consequences and effectiveness of oil spill response operations with a possible change in first line response at the Veslefrikk field. (In Norwegian). IKU report No. 95.006, IKU Petroleum Research 1995.

ANGULO, R.J., 1992. Geologia da planície costeira do Estado do Paraná. São Paulo. 334 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Geologia Sedimentar), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

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

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA), 2001. Disponível em: www.ibge.gov.br/estatistica/população/censo2000. Acesso em 28 de maio de 2001.

KNOPPERS, B.A., F.P. BRANDINI & C.A. THAMM, 1987. Ecological studies in the bay of Paranaguá. Some physical and chemical characteristics. Nerítica, Curitiba, 2, p. 1-36.

MANTOVANELLI, A., 1999. Caracterização da dinâmica hídrica e do material em suspensão na Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem. Dissertação de mestrado em Geologia – Área de Concentração em Geologia Ambiental – Setor de Ciências da Terra/UFPR, 1999;

MARONE, E.; M.R.F. GUIMARÃES; R. CAMARGO; V.P. PRATA JR. & M.S. KLINGENFUSS, 1995. Caracterização físicas das condições oceanográficas, meteorológicas e costeiras das zonas estuarinas da Baía de Paranaguá. In: Congresso Latino – Americano de Ciências do Mar, 6., Mar Del Plata, Argentina. Resumos. p. 129.

ODRESKI, l.L.R., 2002. Evolução sedimentar e batimétrica da Baía de Antonina – PR. Dissertação de mestrado em Geologia – Área de Concentração em Geologia Ambiental – Setor de Ciências da Terra/UFPR.

REED, M., AAMO, O. M. & DALING, P. S. 1995: Quantitative analysis of alternate oil spill response strategies using OSCAR. Spill Science and Technology, Pergamon Press 2(1): 67-74.

REED, M., AAMO, O. M. & DOWNING, K. 1996: Calibration and Testing of IKU's Oil Spill Contingency and Response (OSCAR) Model System. Proceedings of the 1996 Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP) Technical Seminar, pp.689-726.

SOARES, C.R., 1990. Natureza dos sedimentos de fundo das baías das Laranjeiras e de Guaraqueçaba – Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá (PR). São Paulo. 187 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Setor de Geociências, Universidade Estadual Paulista.

WL | Delft Hydraulics, 2010. Delft3D-Wave User Manual, version 3.04. Disponível em <http://www.wldelft.nl/>.