



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

PRISCILA MOREIRA FARIAS

USO DA MODELAGEM DE DISPERSÃO DE ÓLEO NO MAR
NA DETERMINAÇÃO DE UMA ÁREA DE EXCLUSÃO DE
ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO (E&P) DE
PETRÓLEO NO ENTORNO DO BANCO DE ABROLHOS

VITÓRIA
2010

PRISCILA MOREIRA FARIAS



USO DA MODELAGEM DE DISPERSÃO DE ÓLEO NO MAR NA DETERMINAÇÃO DE UMA ÁREA DE EXCLUSÃO DE ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO (E&P) DE PETRÓLEO NO ENTORNO DO BANCO DE ABROLHOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Oceanografia, do Departamento de Oceanografia e Ecologia da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.
Orientador: Prof. Dr. Renato David Ghisolfi.

VITÓRIA
2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

PRISCILA MOREIRA FARIAS

USO DA MODELAGEM DE DISPERSÃO DE ÓLEO NO MAR NA DETERMINAÇÃO
DE UMA ÁREA DE EXCLUSÃO DE ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO
(E&P) DE PETRÓLEO NO ENTORNO DO BANCO DE ABROLHOS

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Renato David Ghisolfi
ORIENTADOR – UFES/DOC

Prof. Dr. Alex Cardoso Bastos
EXAMINADOR INTERNO – UFES/DOC

Msc. Ângelo Teixeira Lemos
EXAMINADOR EXTERNO – NAUTILUS – Inteligência Costeira e Oceânica

USO DA MODELAGEM DE DISPERSÃO DE ÓLEO NO MAR NA DETERMINAÇÃO
DE UMA ÁREA DE EXCLUSÃO DE ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO
(E&P) DE PETRÓLEO NO ENTORNO DO BANCO DE ABROLHOS

por

Priscila Moreira Farias

Submetido como requisito parcial para a obtenção de grau de

Oceanógrafo

na

Universidade Federal do Espírito Santo

Dezembro de 2010

© Priscila Moreira Farias

Por meio deste, o autor confere ao Colegiado do Curso de Oceanografia e ao Departamento de Oceanografia da UFES permissão para reproduzir e distribuir cópias parciais ou totais deste documento de trabalho de conclusão de curso para fins não comerciais.

Assinatura do autor

Curso de graduação em Oceanografia
Universidade Federal do Espírito Santo
13 de Dezembro de 2010

Certificado por.....

Prof. Dr. Renato David Ghisolfi
(Orientador)

Certificado por

Prof. Dr. Alex Cardoso Bastos
Examinador Interno
DOC/UFES

Certificado por

Msc. Ângelo Teixeira Lemos
Examinador Externo
NAUTILUS – Inteligência Costeira e Oceânica

Aceito por

Gilberto Fonseca Barroso
Prof. Adjunto / Coordenador do Curso de Oceanografia
Universidade Federal do Espírito Santo
CCHN/DOC/UFES

Dedico este trabalho a toda minha família e amigos, fontes
da minha alegria e satisfação pessoal.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas oportunidades que me foram dadas na vida, principalmente por ter conhecido pessoas e lugares interessantes, mas também por ter vivido fases difíceis, que foram matérias-primas de aprendizado.

A Agência Nacional de Petróleo (ANP) pelo incentivo financeiro através da bolsa concedida.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Renato David Ghisolfi pelo conhecimento a mim repassado, confiança, dedicação e paciência ao longo de todo o curso.

Agradeço á todos os meus professores que ao decorrer deste curso colaboraram para meu crescimento profissional. Em especial à Prof. Valéria Quaresma, Alex Bastos e Jacqueline Albino que além da contribuição profissional contribuíram também para o meu crescimento pessoal com exemplos de honestidade e respeito. E ao Prof. Dr. Gilberto Fonseca Barroso, pela ajuda e paciência.

A minha mãe Vilmirane, meu pai Marcelino e irmã Talita pelo amor incondicional, pela credibilidade de sempre. Vocês são a razão de tudo isso, são tudo que eu mais amo e prezo, são minha família. Amo muito vocês.

Agradeço à minha avó Mira e todos os meus tios por acreditarem no meu potencial sempre com muita dedicação e amor.

Ao meu amor Rafael, namorado e amigo sempre presente, companheiro de todas as horas e lugares. Obrigado por ter feito desses quatro anos os melhores da minha vida.

Agradeço a Lady querida (Bianca) e a Bimba (Sabrina), amigas de coração e companheiras de AP, por terem me aturado por todos esses anos com sinceridade e carinho.

Aos meus eternos amigos e coleguinhas, pessoas maravilhosas que entraram na minha vida pra nunca mais sair: Tarci (Tarcila), amiga irmã, “pau pra toda obra”, sempre presente desde o dia do vestibular; Silvinha, que chegou pra completar e encher de glamour o trio das sobreviventes da grade nova; Gê (Geórgia), pessoa

maravilhosa de coração abençoado que conquistou minha amizade com sua bondade e inocência; Kyssys (Kyssyenne), exemplo a ser seguido, obrigada pelos exemplos de humildade e dedicação; Picaretinha (Diego) meu orgulho de amigo, rsrs, obrigada pelos momentos de descontração; Bel (Izabe), obrigada pela alegria que contagia a todos a sua volta; a Laricreuzza (Larissa), pela generosidade e maturidade que tanto me acrescentou; Gendróide (Geandré) muito obrigada pelo companherismo; e por fim, Jacson (Rafael), meu amor, que com seu otimismo me fez crescer e enxergar a vida com mais leveza e sabedoria.

Agradeço aos meus amigos Ph (Raphael), Deda (Angélica), Gui (Guilherme) e Natalina pelo abrigo e pelas refeições e pelo abrigo nos dias de carência, rsrs (que por sinal, foram muitos), sempre me recebendo com muito carinho. A todos os meus amigos veteranos, principalmente Danicreuzza (Daniele), Negonix (Thiago) e Gabizinha e aos meus colegas de 2007, Baiano, Delho, Sesquim, Monkey, Elisa, Flor, Fran, enfim a todos eles, pelos momentos de descontração e desconcentração.

Enfim, agradeço a todos que, de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse possível.

”Existe uma coisa que uma longa existência me ensinou: toda a nossa ciência, comparada à realidade, é primitiva e inocente; e, portanto, é o que temos de mais valioso.”

Albert Einstein

RESUMO

O presente estudo buscou aplicar a modelagem numérica como metodologia para identificar o potencial dano ambiental que a região do Banco de Abrolhos está exposta em casos de acidentes envolvendo derrames de óleo no seu entorno. Para isso foram realizadas setenta e uma simulações probabilísticas de derrames de óleo na região, utilizando como ferramenta o modelo OSCAR (*Oil Spill Contingency and Response*). Dados de entrada, como o tipo e composição do óleo, taxa e localização do vazamento, caracterização da linha de costa, batimetria, dados ambientais e meteoceanográficos (intensidade e direção dos ventos e correntes) foram *inseridos* no modelo que simulou os processos intempéricos e o destino do óleo. Os derrames simulados se originaram de diferentes pontos localizados sobre quatro radiais traçadas sobre o banco, que convergem num ponto da costa. Os resultados gerados proporcionaram a elaboração de um mapa final contendo faixas probabilísticas que definiram áreas de maior ou menor risco à instalação de atividades de E&P de petróleo. De acordo com o mapa gerado, os piores cenários de derrame de óleo simulados foram aqueles onde os vazamentos partiram dos pontos situados sobre a Radial 1 e 2, ou seja, a norte de 18°S. A classificação do cenário baseou-se na área do banco atingida pela mancha probabilística de óleo, na contaminação ou não do PARNAM de Abrolhos e da costa. As simulações onde os derrames aconteceram nas outras duas radiais (3 e 4), localizadas a sul de 18°S, apresentaram menores riscos de contaminação ao banco, não oferecendo nenhum risco ao PARNAM de Abrolhos e a linha de costa. Os resultados encontrados estão relacionados à hidrodinâmica da região, onde se destacam a influência da Corrente do Brasil que flui na quebra de plataforma e transporta a pluma de óleo derramada para sul; o Vórtice de Ilhéus que afeta o transporte do óleo quando este é derramado aproximadamente entre 14°S e 16°S; e o Vórtice de São Tomé que afeta o destino do óleo nas simulações nas latitudes abaixo de 22°S. Haja vista os resultados encontrados, concluiu-se que a metodologia proposta permitiu a elaboração de resultados que refletem os riscos probabilísticos de uma grande área, num curto espaço de tempo, sem grandes esforços computacionais e de custo relativamente baixo. Visto isso, a metodologia utilizada e os resultados encontrados através do seu são indicadas para subsidiar órgãos ambientais na alocação de blocos exploratórios, para que a integridade de ecossistemas marinhos e costeiros de grande importância

biológica e/ou socioeconômica, como o Banco de Abrolhos, não seja ameaçada.

Palavras chave: Modelagem computacional, derramamento de óleo no mar, Banco de Abrolhos, modelo OSCAR, Zona de Amortecimento, Zona de Exclusão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fisiografia da margem continental mostrando a presença do Banco de Abrolhos, Banco Royal Charlotte e a Cadeia Vitória-Trindade. Fonte: Soutelino (2008).....	21
Figura 2 - Mapa contendo as classificações quanto à importância biológica dos biomas marinhos e terrestres. Fonte: Banco de dados do Ministério do Meio Ambiente (MMA).	22
Figura 3 - Mapas contendo a localização de poços confidenciais de desenvolvimento e produção de petróleo (A), poços de exploração (B), poços públicos de desenvolvimento e produção (C) e os blocos de exploração de hidrocarbonetos (D) na região do Banco de Abrolhos.	23
Figura 4 - Produção de petróleo nas bacias marítimas do Brasil. Fonte: Relatório de Produção de Petróleo de 2000 a 2009 do BDEP.....	24
Figura 5 - Padrão esquemático de circulação em 20 metros de profundidade a partir de dados de ADCP sobreposto ao campo geostrófico em um período de verão. Em destaque a Corrente do Brasil (CB), o Vórtice de Ilhéus (VI), o Vórtice de Royal Charlotte (VRC) e o Vórtice de Royal Charlotte (VRC) e o Vórtice de Abrolhos (VAb). Fonte: Soutelino (2008).....	26
Figura 6 - Processos intempéricos atuantes sobre o óleo no ambiente marinho. Fonte: modificado de ITOPF (2002).	28
Figura 7 - Componentes chaves do sistema do modelo OSCAR. Fonte: REED et al (1995).....	30
Figura 8 - Esquema mostrando os dados gerais requeridos pelo OSCAR e os principais processos controladores do destino dos compostos do óleo. Adaptado de Reed (2000).	31
Figura 9 - Grade numérica utilizada nas simulações. Em azul, amarelo e verde se encontram o continente, areia costeira e a água do mar, respectivamente.	34

Figura 10 - Composição química de um óleo tipo intermediário escolhido no banco de dados do modelo para simular os derramamentos.	35
Figura 11 - Delimitação do Banco de Abrolhos com a sobreposição das radiais e os pontos iniciais de derrame de óleo.....	37
Figura 12 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m ³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame situa-se no limite leste do Banco de Abrolhos sobre a Radial 1.....	41
Figura 13 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m ³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 205 km do limite leste do banco sobre a Radial 1 e limita a faixa probabilística de 70 – 100%.....	42
Figura 14 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m ³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 222 km do limite leste do banco sobre a Radial 1 e limita a faixa probabilística de 40 – 70%.....	43
Figura 15 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m ³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 230 km do limite leste do banco sobre a Radial 1 e limita a faixa probabilística de 10 – 40%.....	44
Figura 16 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m ³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 255 km do limite leste do banco sobre a Radial 1 e limita a faixa probabilística de 0 - 10%.....	45
Figura 17 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m ³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame situa-se no limite leste do Banco de Abrolhos sobre a Radial 2.	48
Figura 18 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de	

derrame de 192m ³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 40 km do limite leste do banco sobre a Radial 2.	49
Figura 19 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m ³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 150 km do limite leste do banco sobre a Radial 2.	50
Figura 20 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m ³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame situa-se no limite leste do Banco de Abrolhos sobre a Radial 3.	52
Figura 21 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m ³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 4 km do limite leste do banco sobre a Radial 3 e limita a faixa probabilística de 70 – 100%.	53
Figura 22 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m ³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 6 km do limite leste do banco sobre a Radial 3 e limita a faixa probabilística de 40 – 70%.	54
Figura 23 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m ³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 8 km do limite leste do banco sobre a Radial 3 e limita a faixa probabilística de 0 - 10%.	55
Figura 24 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m ³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame situa-se no limite leste do Banco de Abrolhos sobre a Radial 4.	57
Figura 25 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m ³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 7 km do limite leste do banco	

sobre a Radial 4 e limita a faixa probabilística de 70 – 100%.	58
Figura 26 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m ³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 10 km do limite leste do banco sobre a Radial 3 e limita a faixa probabilística de 40 – 70%.....	59
Figura 27 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m ³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 12 km do limite leste do banco sobre a Radial 1 e limita a faixa probabilística de 10 – 40%.....	60
Figura 28 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m ³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 40 km do limite leste do banco sobre a Radial 3 e limita a faixa probabilística de 0 - 10%.....	61
Figura 29 - Mapa contendo as faixas probabilísticas finais resultantes da análise de setenta e uma simulações probabilísticas de derrame de 192m ³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. A faixa em vermelho representa a área onde a realização de atividades de E&P de petróleo no mar oferece maior risco de contaminação ao Banco de Abrolhos em caso de acidentes envolvendo derrames de óleo no mar.	62
Figura 30 - Padrão de circulação superficial de verão nos dias 30/12/88 (A), 14/01/89 (C), 29/01/89 (B) e 13/02/89 (D). Fonte: Lemos (2009).....	63
Figura 31- Padrão de circulação atmosférica superficial de verão nos dias 30/12/88 (A), 14/01/89 (C), 29/01/89 (B) e 13/02/89 (D). Fonte: Lemos (2009).....	64
Figura 32 - Padrão de distribuição das correntes marinhas a 50 metros de profundidade, calculados a partir dos dados oceanográficos medidos durante o cruzeiro realizado em setembro de 2007.Fonte: SOARES, 2007.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos tipos de óleo quanto a sua densidade, grau API, composição, meia vida e persistência. Fonte: ITOPF, 1986.....	28
Tabela 2 - Resultados diferenciais de 22 simulações probabilísticas de derramamento no verão de 192m ³ de um óleo intermediário nos pontos de vazão da R1.....	39
Tabela 3 - Resultados diferenciais de dezesseis simulações probabilísticas de derramamento no verão de 192m ³ de um óleo intermediário nos pontos de vazão da R2.....	46
Tabela 4 - Planilha contendo as probabilidades máximas em que o óleo atingiu o banco em relação ao distanciamento dos derrames simulados na R3.	51
Tabela 5 -Planilha contendo as probabilidades máximas em que o óleo atingiu o banco em relação ao distanciamento dos derrames simulados na R4.	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	Erro! Indicador não definido.
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	Erro! Indicador não definido.
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1 CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS E SOCIOECONÔMICAS DA REGIÃO DO BANCO DE ABROLHOS.....	20
3.1.1 Localização e Características Gerais.....	20
3.1.2 Panorama da P&E de Petróleo na Região de Estudo.....	22
3.1.3 Clima, Regime de Ventos e Aspectos Oceanográficos.....	24
3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO PETRÓLEO	27
3.2.1 Composição e Propriedade Físicas do Óleo.....	27
3.2.2 Comportamento do Óleo no Mar.....	28
3.3 O MODELO DE DISPERSÃO DE ÓLEO	29
3.4 BREVE ABORDAGEM SOBRE A CRIAÇÃO DE UMA ZONA DE AMORTECIMENTO E DE EXCLUSÃO NA REGIÃO DO BANCO DE ABROLHOS .	32
4 METODOLOGIA	33
4.1 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO	33
4.1.1 Campos de Corrente, Vento e Batimetria	33
4.1.2 Parâmetros Ambientais para Elaboração dos Cenários	34
4.2 ELABORAÇÃO DOS CENÁRIOS DE DERRAME	36

4.2.1 A Delimitação do Banco de Abrolhos e a Escolha dos Pontos de Derramamento.....	36
4.2.2 Realização das Simulações Probabilísticas.....	37
4.3 CONFECÇÃO DO MAPA PROBABILÍSTICO FINAL	38
5 RESULTADOS	39
5.1 CENÁRIOS ONDE O DERRAME OCORREU SOBRE A RADIAL 1 (R1).....	39
5.2 CENÁRIOS ONDE O DERRAME OCORREU SOBRE A RADIAL 2 (R2).....	46
5.3 CENÁRIOS ONDE O DERRAME OCORREU SOBRE A RADIAL 3 (R3).....	51
5.4 CENÁRIOS ONDE O DERRAME OCORREU SOBRE A RADIAL 4 (R4).....	56
5.5 MAPA PROBABILÍSTICO FINAL	62
6 DISCUSSÃO	63
7 CONCLUSÃO	68
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	69

1 INTRODUÇÃO

À medida que a população do mundo aumenta e as nações se tornam mais industrializadas, a demanda por combustíveis fósseis como fonte de energia e produtos derivados tende a crescer. Esta energia é obtida principalmente do petróleo e a expectativa é que continue sendo a mais importante fonte de energia por muitas décadas (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 2003).

No século XX, o aumento da demanda de petróleo levou ao crescimento da sua utilização sem haver a preocupação com as consequências ambientais associadas a uma potencial poluição causada na sua extração, transporte e consumo. Segundo Silva (1996), a poluição marinha por derramamento de óleo está entre os impactos socioambientais mais graves e danosos da atualidade sendo a indústria do petróleo a atividade que apresenta o maior risco de acidentes ambientais, com possibilidade de derrames desde a perfuração até a distribuição. Esse tipo de acidente atrai a atenção de toda a sociedade e da mídia, pois afeta uma gama de atividades e usos que podem ser de interesse científico devido à importância ecológica de determinados habitats, presença de espécies raras e/ou endêmicas e locais de reprodução, além dos interesses socioeconômicos, como áreas de pesca, de extração de água e alimento e turismo.

Uma região recentemente ameaçada por esse tipo de impacto é o Banco de Abrolhos, pois está localizada em uma porção da plataforma brasileira de grandes reservas petrolíferas e de grande produtividade devido à facilidade de extração, que ocorre a menores profundidades. Dessa forma, blocos de petróleo situados muito próximos ao Banco de Abrolhos vêm sendo licenciados, como é o caso do BM-CUM-3.

O Banco de Abrolhos é a região com a maior biodiversidade marinha no Atlântico Sul, abrigando o maior banco de corais e algumas das principais áreas-berçário das baleias Jubarte. Além disso, este é um ecossistema bastante diverso onde foram registradas aproximadamente 1.300 espécies sendo que 45 delas são consideradas ameaçadas, segundo listas da IUCN (*International Union for Conservation of Nature*) e do IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente). Além da importância ecológica há também a importância social e econômica como a pesca artesanal e ecoturismo,

sendo notoriamente um dos melhores pontos de mergulho no mundo (LEÃO, 1999).

A proximidade entre as duas regiões oferece grandes riscos a esse ambiente, devido à potencialidade de derramamentos de óleo na região. No ano de 2003, a Agência Nacional do Petróleo (ANP) ofereceu grandes áreas para a exploração de hidrocarbonetos na região. Desde então, a criação de uma Zona de Amortecimento (ZA) e uma Zona de Exclusão (ZE) no entorno do Parque Nacional (PARNA) Marinho dos Abrolhos vem sendo discutida pela sociedade civil e órgãos governamentais. Segundo a Lei 9.985/00, que regulamenta o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), a zona de amortecimento abrange “... o entorno de uma unidade de conservação, onde as atividades humanas estão sujeitas a normas e restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre a unidade”. Tanto a ZA quanto a ZE chegaram a ser criadas em 2006, porém foram suspensas pela Justiça em Junho de 2008, deixando o entorno do Parque vulnerável a atividades potencialmente impactantes.

É nesse contexto que se identificou a necessidade de serem realizados estudos a cerca das probabilidades do Banco de Abrolhos ser atingido por óleo em decorrência de acidentes envolvendo derramamentos de óleo no mar e seus possíveis danos ambientais. O intuito deste estudo é aumentar os subsídios técnicos para elaboração e delimitação das ZA e ZE.

Uma poderosa ferramenta disponível para melhorar a eficiência na implementação dos planos de contingência em caso de derrames de óleo no mar é a modelagem de dispersão de óleo. Segundo CETESB (2003), a modelagem é uma ferramenta fundamental no licenciamento ambiental, elaboração de planos de emergência, análise de riscos, elaboração de estudos e gestão das atividades de E&P de petróleo. Para a indústria de petróleo e para as agências reguladoras, por exemplo, a análise de ações de respostas é utilizada para aumentar a eficiência dos planos de contenção a derramamentos de óleo tanto para instalações costeiras quanto para instalações *offshore*, uma vez que orientam as tomadas de decisões e podem diminuir custos e tempo na implantação dos mesmos.

O presente estudo busca aplicar a modelagem numérica como uma metodologia

Banco de Abrolhos em caso de derramamentos de óleo no mar;

2 OBJETIVOS

Determinar possíveis regiões nas quais as atividades de exploração e produção de petróleo possam ocorrer sem, contudo, expor o Banco de Abrolhos e adjacências a possíveis danos causados por derramamentos de óleo no mar.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar e analisar a metodologia proposta como alternativa para subsidiar estudos de análise de risco ambiental ao Banco de Abrolhos;
- Mapear faixas probabilísticas de exposição do Banco de Abrolhos em caso de derramamentos de óleo no mar;
- Analisar a influência da Corrente do Brasil e suas instabilidades na dispersão do óleo em diversos pontos de derramamento adjacentes ao Banco de Abrolhos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS E SOCIOECONÔMICAS DA REGIÃO DO BANCO DE ABROLHOS

3.1.1 Localização e Características Gerais

O Banco de Abrolhos é uma região ao largo sul da Bahia de grande complexidade por abranger diversos habitats como recifes de corais, ilhas vulcânicas, bancos rasos, canais, fundos de algas, manguezais, praias e restingas, ocupando uma área de aproximadamente 32.000 km² que abriga a maior biodiversidade do Atlântico Sul (MARCHIORO *et al.*, 2005). Este Banco destaca-se das demais partes leste e nordeste da plataforma, por apresentar uma largura que atinge 240km de distância da costa, em contraste com largura média de 50 km. BOYER (1969) atribui sua gênese a acréscimos de origem vulcânica, levando, segundo ASMUS (1970), a um alargamento de uma plataforma continental originalmente mais estreita. Levantamentos magnetométricos, perfurações e ocorrências de rochas magmáticas no arquipélago dos Abrolhos comprovam a origem vulcânica do seu substrato.

O Banco de Abrolhos se estende meridionalmente de 17°S a 21°S e zonalmente desde a costa até 39°W e, como mostrado na Figura 1, compõe uma complexa estrutura geológica com a presença de cadeias vulcânicas como a Cadeia Vitória-Trindade.

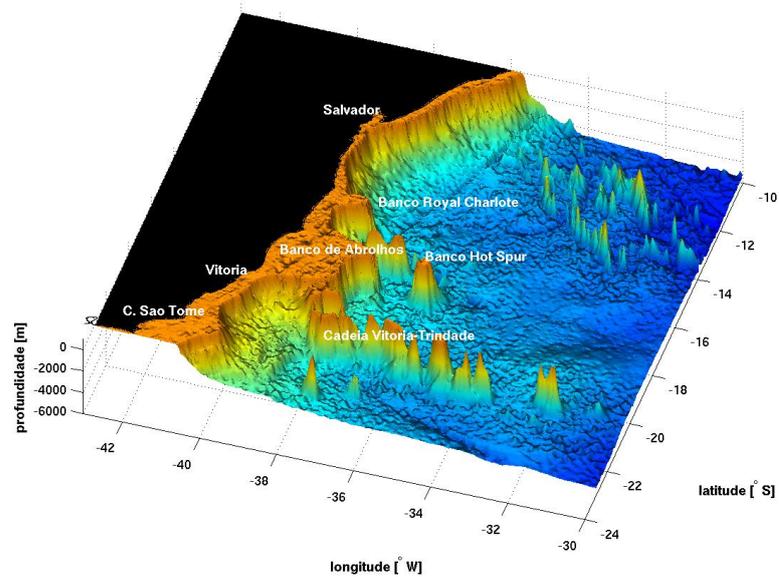


Figura 1- Fisiografia da margem continental mostrando a presença do Banco de Abrolhos, Banco Royal Charlotte e a Cadeia Vitória-Trindade. Fonte: Soutelino (2008).

Devido as suas características únicas, em 2002 o Banco de Abrolhos foi declarado área de extrema importância biológica pelo Ministério do Meio Ambiente, como mostra o mapa da Figura 2. Este órgão também considera extremamente alta a prioridade de ações como ordenamento pesqueiro, implementação da ZA do PARNAM de Abrolhos e ampliação das Unidades de conservação para garantir a proteção da biodiversidade total do banco.

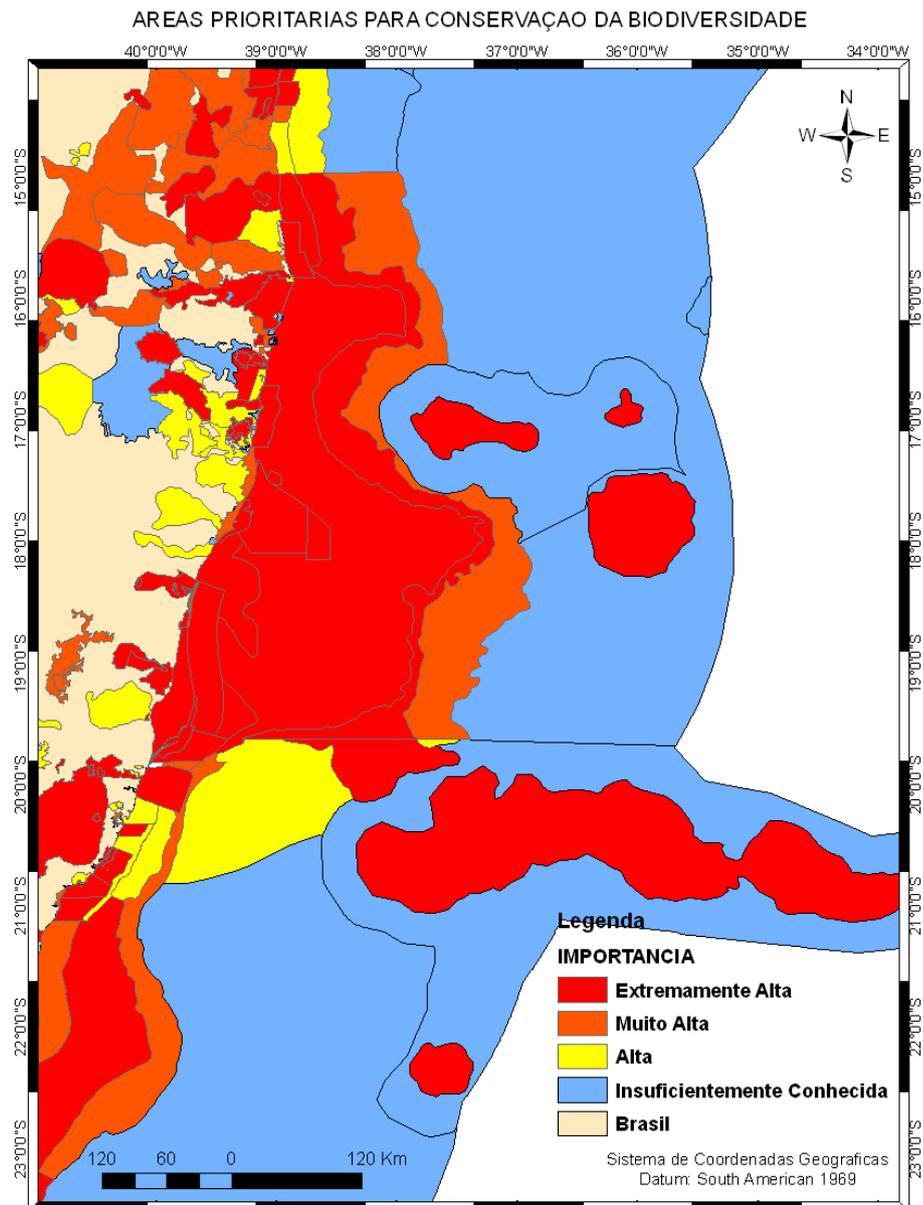


Figura 2 - Mapa contendo as classificações quanto à importância biológica dos biomas marinhos e terrestres. Fonte: Banco de dados do Ministério do Meio Ambiente (MMA).

Além da sua relevância biológica, essa região também possui relevância socioeconômica, pois as comunidades costeiras que margeiam o banco têm como principais atividades econômicas o turismo ligado aos ambientes naturais e a pesca, da qual depende a renda e subsistência de milhares de famílias.

3.1.2 Panorama da P&E de Petróleo na Região de Estudo

Os mapas mostrados na Figura 3 mostram as regiões do banco onde as atividades de E&P de petróleo se concentram na área de estudo. Observe que a região sul do

banco referente à Bacia do Espírito Santo é a área onde se concentra a maior produção petrolífera. Na bacia de Mucuri e Cumuruxatiba não há evidência de nenhuma atividade exploratória.

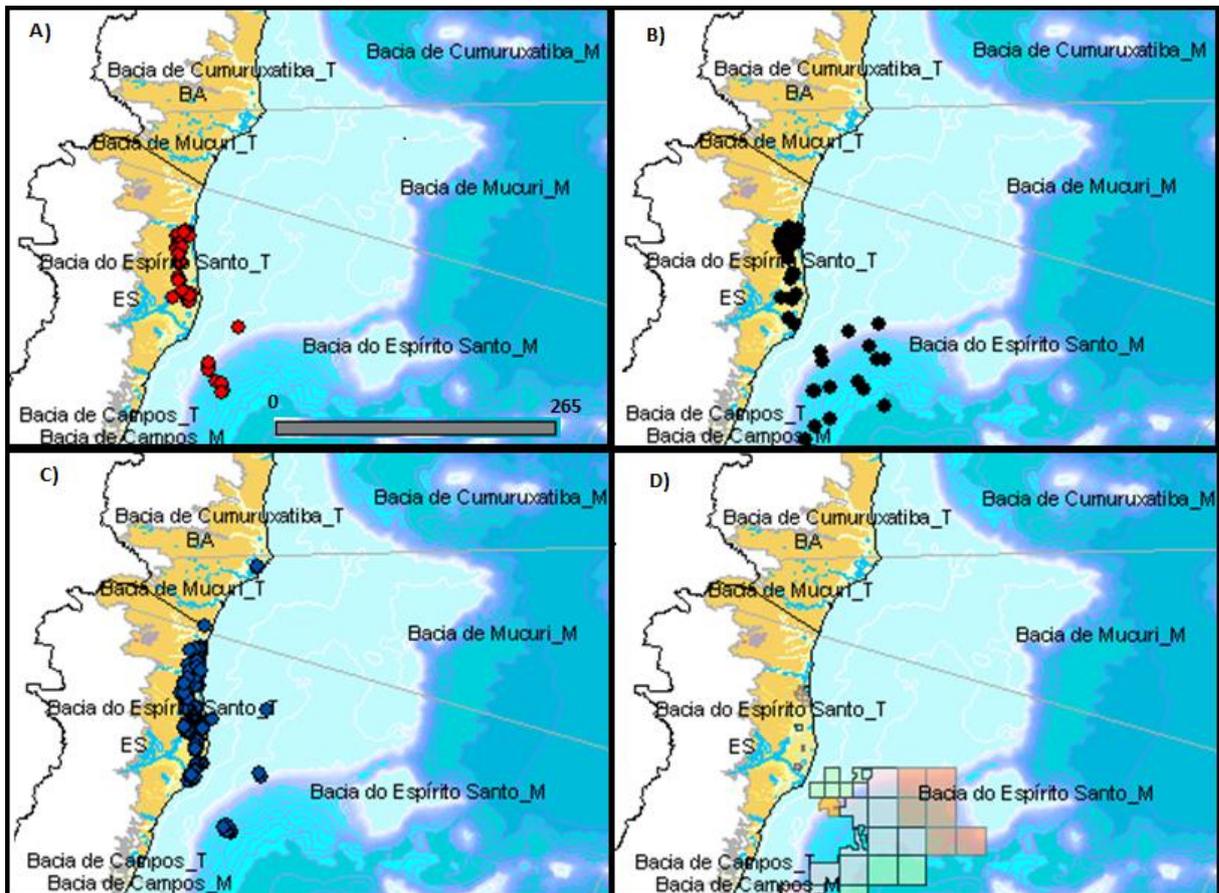


Figura 3 - Mapas contendo a localização de poços confidenciais de desenvolvimento e produção de petróleo (A), poços de exploração (B), poços públicos de desenvolvimento e produção (C) e os blocos de exploração de hidrocarbonetos (D) na região do Banco de Abrolhos.

A Figura 4 mostra o panorama da produção de petróleo na bacia do Espírito Santo entre os anos 2000 a 2009.

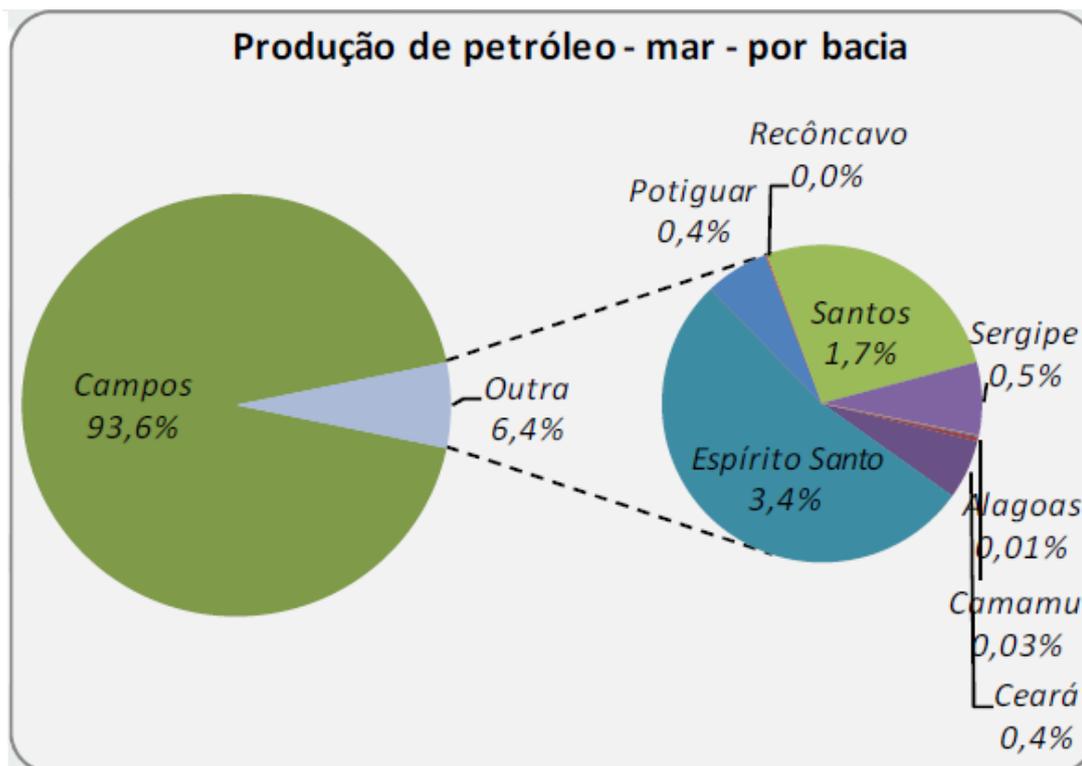


Figura 4 - Produção de petróleo nas bacias marítimas do Brasil. Fonte: Relatório de Produção de Petróleo de 2000 a 2009 do BDEP.

Os estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo respondem pela quase totalidade da produção de petróleo. Aos demais seis estados cabem apenas 2,3% do total.

3.1.3 Clima, Regime de Ventos e Aspectos Oceanográficos

Na região do Banco de Abrolhos a média mensal de temperatura na superfície da água varia entre 24,5 °C em agosto a 27,5 °C em março. A média de temperatura na costa leste brasileira varia entre 24°C e 27°C no inverno e verão, respectivamente. (US NAVY, 1978).

Segundo Koppen (1948), o clima do litoral do Espírito Santo ao sul da Bahia pode ser classificado como pseudo-equatorial, com estação mais seca no outono e inverno e com chuvas tropicais de verão. Ainda segundo o autor, o período de inverno pode ser marcado por altos níveis pluviométricos devido ao efeito das frentes frias. A passagem de uma frente fria normalmente ocasiona queda de temperatura do ar, alteração na direção e intensidade dos ventos e instabilidade na interface oceano e atmosfera, associadas às precipitações. Castro e Miranda (1998) constataram que na região esses sistemas frontais podem modificar a circulação

superficial, principalmente da plataforma interna, fazendo com que as correntes mudem de direção, sofrendo rotação anticiclônica. Segundo Nimer (1989), a média anual de precipitação é de 1750 mm, sendo os meses de março, abril e maio os de maior precipitação anual (35% do total).

O Banco de Abrolhos se encontra na porção sul da região de influência dos ventos alísios. Durante o verão, ocorre uma migração, para norte, da célula anticiclônica do Atlântico Sul, o que faz com que no período de outubro a março (verão) os ventos sejam preferencialmente de Nordeste (NE) e Leste (E). Durante o inverno a célula anticiclônica do Atlântico Sul migra para o sul fazendo com que de abril a setembro os ventos sejam de sudeste (NIMER, 1989). A velocidade média dos ventos na região é de $4,25 \text{ m.s}^{-1}$ e a máxima observada chega a $13,40 \text{ m.s}^{-1}$, associada aos ventos de nordeste e leste (TEIXEIRA *et al*, 2005).

O padrão de ondas coincide com o regime de ventos. Ondas ocorrentes no período de primavera/verão são dirigidas pelos ventos de nordeste/leste chegando a alcançar alturas de 1m e períodos de 0,5s (US NAVY 1978). Ainda segundo informações do US Navy (1978), no período de outono/inverno, as ondas são preferencialmente provenientes do quadrante sudeste/sul - sudoeste, alcançando alturas de 1,5m e períodos de 5s. Albino (1999) afirma que neste período as ondas são preferencialmente provenientes do quadrante sudeste/leste. Segundo Teixeira *et al.* (2005), no Banco de Abrolhos a média da altura das ondas é de 0,4m com período de 5s.

O regime de marés da costa capixaba, segundo a DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação), possui amplitudes em torno de 1,40m e 1,60m, dessa forma é classificado como sendo de micro maré (< 2m). Já na costa sul da Bahia, as amplitudes variam entre 2.1m e 3.2m e a maré é classificada como meso-maré (amplitude variando entre 2m e 4m).

A região de estudo é caracterizada por uma complexa topografia que confere características particulares de circulação. A Corrente do Brasil (CB) é uma corrente de contorno oeste associada ao Giro Subtropical do Atlântico Sul que tem grande influência no comportamento e destino da mancha de óleo visto na modelagem de dispersão de óleo no mar (PIMENTEL, 2007; FONSECA, 2009; FARIAS, 2009). Ela

flui próximo ao talude desde a sua região de formação até confluir com a Corrente das Malvinas (SILVEIRA *et al*, 2000). Ao longo do seu trajeto, a CB passa por uma série de feições topográficas que funcionam como um mecanismo de disparo para uma série de instabilidades no fluxo. Uma dessas feições topográficas é o Banco de Abrolhos e Royal Charlotte que engatilham uma série de feições de mesoescala (vórtices e meandros) associados ao fluxo médio da CB (SOARES, 2007). Soutelino (2008) através de seu estudo sobre a formação da CB evidenciou a formação de três vórtices no padrão de circulação ao largo do banco de Abrolhos e adjacências. São eles: o Vórtice de Ilhéus (VI), Vórtice Royal Charlotte (VRC) e o Vórtice de Abrolhos (VAb) (Figura 9).

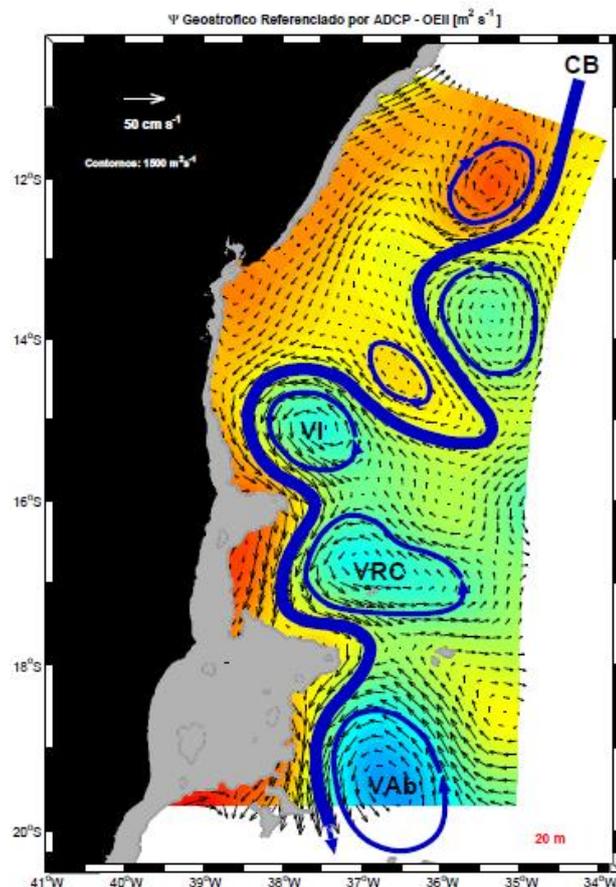


Figura 5 - Padrão esquemático de circulação em 20 metros de profundidade a partir de dados de ADCP sobreposto ao campo geostrofico em um período de verão. Em destaque a Corrente do Brasil (CB), o Vórtice de Ilhéus (VI), o Vórtice de Royal Charlotte (VRC) e o Vórtice de Royal Charlotte (VRC) e o Vórtice de Abrolhos (VAb). Fonte: Soutelino (2008).

Segundo Silveira *et al* (2000), ao sul de 15°S a CB é uma corrente rasa, estreita e transporta cerca de 1,5 – 3 Sv, para o sul com velocidades máximas da ordem de

0,5 m.s⁻¹. Mais ao sul a corrente pode se trifurcar ao passar pela cadeia Vitória-Trindade. A partir de então ocorre à reorganização da CB no embaiamento do Espírito Santo, onde ela pode assumir um padrão meandrante e formar o Vórtice de Vitória, um vórtice ciclônico formado na região sul do Banco de Abrolhos (SCHIMID *et al*, 1995). Através de dados sinóticos de campo anual, Costa (2007) observou que o Vórtice de Vitória não é uma estrutura permanente e que possui maior recorrência nos meses de Março a Abril.

3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO PETRÓLEO

3.2.1 Composição e Propriedade Físicas do Óleo

O petróleo é um composto derivado de matéria orgânica, sendo uma combinação de cerca de 200 a 300 componentes químicos, dos quais 50 a 98 desses são de hidrocarbonetos (PIOVESAN, 2006). Devido às peculiaridades no momento de formação, é impossível definir exatamente a composição do petróleo, uma vez que não existem dois óleos com características, tanto físicas como químicas, exatamente iguais (TISSOT e WELT, 1984).

A composição química do óleo é um parâmetro determinante no grau de impacto em casos de derramamentos de óleo no ambiente marinho, pois influencia diretamente o comportamento da mancha e no intemperismo do óleo. Os tipos de óleos são agrupados de acordo com suas propriedades físicas como a massa específica, densidade, grau API, viscosidade, ponto de fluidez, volatilidade, ponto de ignição, solubilidade e tensão superficial.

Outra classificação é feita quanto à persistência do óleo no ambiente. Neste caso, eles podem ser discretizados como: a) não persistentes: tendem a desaparecer rapidamente da superfície do mar (gasolina, nafta, querosene, óleos leves); e b) persistentes: se dissipam mais lentamente (óleos crus). A persistência depende de sua gravidade específica que é geralmente expressa em °API (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação dos tipos de óleo quanto a sua densidade, grau API, composição, meia vida e persistência. Fonte: ITOPF, 1986.

Classificação dos tipos de óleo					
Grupo	Densidade	API	Composição	Meia Vida	Persistência
I	< 0,8	> 45	Leve	~ 24 h	1 - 2 dias
II	0,80 à 0,85	35 à 45	Leve	~ 48 h	3 - 4 dias
III	0,85 à 0,95	17,5 à 35	Pesado	~ 72 h	5 - 7 dias
IV	> 0,95	< 17,5	Pesado	~ 168 h	> - 7 dias

3.2.2 Comportamento do Óleo no Mar

O petróleo possui características físico-químicas individuais que se alteram quando este entra em contato com a água do mar, sofrendo transformações químicas, físicas e biológicas ao longo do tempo, ou seja, sofre intemperismo. Esses processos atuam intensamente, dependendo do óleo em questão, afetando o comportamento e destino do mesmo. O período sazonal no qual ocorre o derramamento é um fator muito importante na tomada de decisões sobre estratégias de combate ao derramamento, uma vez que as variações sazonais oceanográficas e meteorológicas influenciam nos espalhamento, na evaporação, na espessura da mancha, bem como na sua mobilidade.

Os principais processos intempéricos atuantes sobre o óleo no ambiente marinho são mostrados na Figura 6. As modificações no óleo ocorrem devido a processos como a advecção, o espalhamento, a evaporação, a dissolução, a emulsificação, a sedimentação, a foto-oxidação e a biodegradação. Uma descrição detalhada sobre cada um desses processos pode ser encontrado no trabalho de Fonseca (2009).

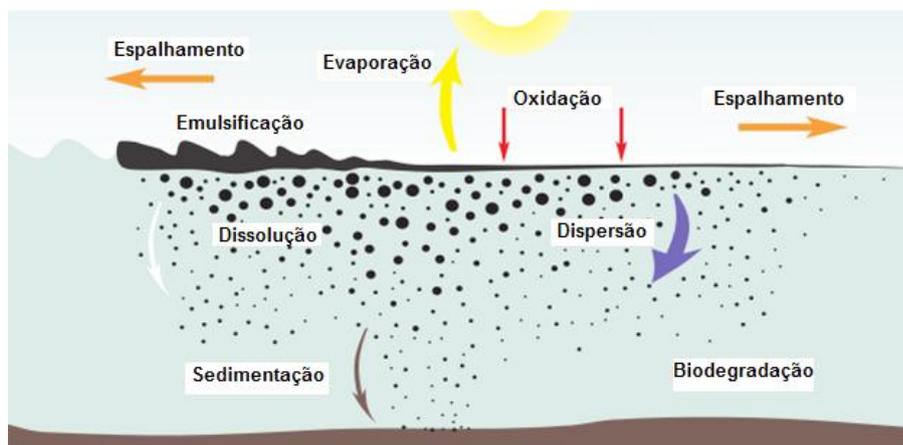


Figura 6 - Processos intempéricos atuantes sobre o óleo no ambiente marinho. Fonte: modificado de ITOPF (2002).

3.3 O MODELO DE DISPERSÃO DE ÓLEO

A ferramenta utilizada no presente estudo é a versão mais atual (6.0) do modelo OSCAR (*Oil Spill Contingency and Response*). Este modelo foi desenvolvido pela SINTEF (Fundação de Pesquisa Científica e Industrial do Instituto de Tecnologia da Noruega) com o intuito de dar suporte a planos de contingência de óleo e respaldo a tomada de decisões. O modelo contém quatro componentes chaves em seu sistema que interagem entre si de acordo com o fluxograma mostrado na Figura 7.

O modelo de intemperismo do óleo e o modelo tridimensional de destino químico do óleo consideram o fracionamento do óleo e calcula a distribuição do poluente em três dimensões físicas: 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. O modelo de combate ao derramamento 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 7 - Componentes chaves do sistema do modelo OSCAR. Fonte: REED et al (1995).

A implementação propriamente dita do modelo é mostrada na Figura 8. Dados de entrada como o tipo e composição do óleo, taxa e localização do vazamento, caracterização da linha de costa e dados meteoceanográfico são *inputs* do modelo OSCAR que simula os processos intempéricos e de destino do óleo. Os resultados são apresentados na forma de balanço de massa, mapas de distribuição geográfica do óleo e gráficos de distribuição temporal e espacial do óleo em toda coluna d'água.

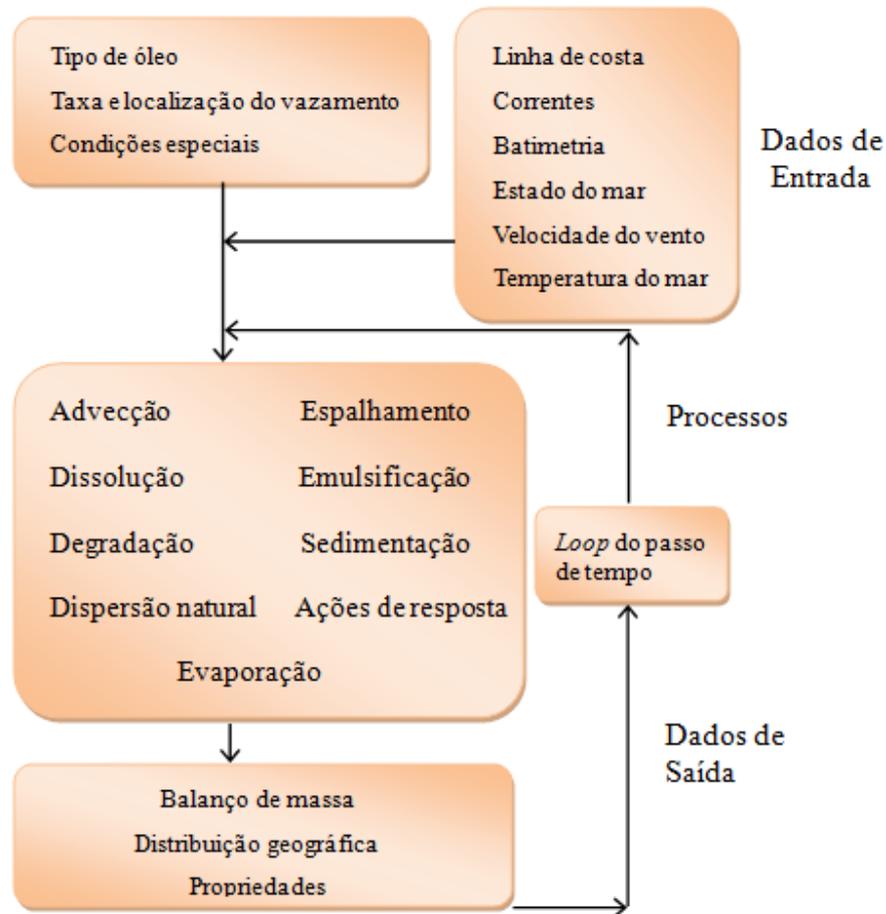


Figura 8 - Esquema mostrando os dados gerais requeridos pelo OSCAR e os principais processos controladores do destino dos compostos do óleo. Adaptado de Reed (2000).

O modelo também considera a interação das partículas de óleo com o sedimento e o particionamento entre óleo dissolvido e o adsorvido ao material particulado (AAMO *et al*, 1993).

A caracterização do tipo de costa e da profundidade da região de interesse são características incluídas em uma grade regular que tem por finalidade calcular o transporte do óleo permitindo que as taxas dos processos intempéricos sejam calculadas para cada componente. Os campos de correntes implementados pelo modelo podem ser bidimensionais ou tridimensionais, estacionários ou não, obtidos através de modelos hidrodinâmicos.

O OSCAR é um modelo de código fechado, porém seu detalhamento técnico pode ser encontrado no anexo I do estudo de Pimentel (2007).

3.4 BREVE ABORDAGEM SOBRE A CRIAÇÃO DE UMA ZONA DE AMORTECIMENTO E DE EXCLUSÃO NA REGIÃO DO BANCO DE ABROLHOS

No ano de 2003, a Agência Nacional do Petróleo (ANP) ofereceu, durante a Quinta Rodada de Licitações Internacionais para a Exploração de Petróleo e Gás no Brasil, cerca de 1.070 blocos de E & P, dentre os quais 246 se localizavam sobre o Banco de Abrolhos. Desde então, vem ganhando destaque uma discussão entre a sociedade civil e órgãos governamentais para a criação de uma Zona de Amortecimento no entorno do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos.

Para criação da ZA foi definida uma região com 50 km de raio medido a partir dos limites da unidade de conservação, dentro da qual foram determinados pontos hipotéticos de derrames de óleo. Os derrames hipotéticos foram simulados sob condições climatológicas comuns na região do Banco dos Abrolhos. Nesses estudos foram avaliados os impactos potenciais de derramamentos de óleo de grande porte, estudadas as adoções de estratégias de planejamento para prevenir tais acidentes, como diz o princípio da precaução adotada pela Agenda 21 e recentemente internalizado na legislação ambiental brasileira através do Decreto Federal 5.300/04.

Em Agosto de 2003, o Diário oficial da união anunciou a exclusão de 163 blocos dos 243 reivindicados e o Ministério Público Federal (MPF) deferiu liminar excluindo de todos os leilões os blocos que restavam em um raio de 50 km do (PARNA) de Abrolhos, até que a ação civil pública sobre a questão fosse julgada e instaurada. Mas somente em 18 de Maio de 2006 que a portaria nº 39/2006 do IBAMA aprovou o estabelecimento da ZA que cobria uma área de aproximadamente 95 Km². O artigo terceiro dessa portaria também definiu uma área de 80% da ZA como sendo uma ZE às atividades de E&P de petróleo e gás.

Em outubro de 2006 o governador da Bahia colocou em dúvida a validade da delimitação da ZA alegando que a mesma foi elaborada com base em estudo feito por uma coalizão de ONGs (Organizações não Governamentais) e, por liminar, entrou com mandado de segurança contra o presidente do IBAMA. Essa ação fez com que, em Junho de 2007, a Justiça Federal anulasse a ZA e ZE de Abrolhos. Desde 2007 a área antes protegida pela ZA e ZE encontra-se novamente suscetível

a empreendimentos de E&P de óleo e gás.

Segundo Marchioro *et al* (2005), o limite sul da ZE de Abrolhos (até 19°S), próxima à cidade de São Mateus no Espírito Santo, é uma área de grande importância para o setor de petróleo e gás. Nesta região há indícios de grandes reservas de óleo leve na bacia sedimentar, um produto que o Brasil ainda importa mesmo sendo autossuficiente em petróleo pesado.

4 METODOLOGIA

4.1 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

4.1.1 Campos de Corrente, Vento e Batimetria

Os dados meteoceanográficos utilizados nesse estudo são os mesmos utilizados por Lemos (2008) e uma descrição completa pode ser encontrada no respectivo estudo. Os dados de batimetria local inclusos no modelo OSCAR são oriundos do SeaTopo6.2. A grade numérica contendo a caracterização da linha de costa e a batimetria utilizada no presente estudo se encontra na Figura 9.

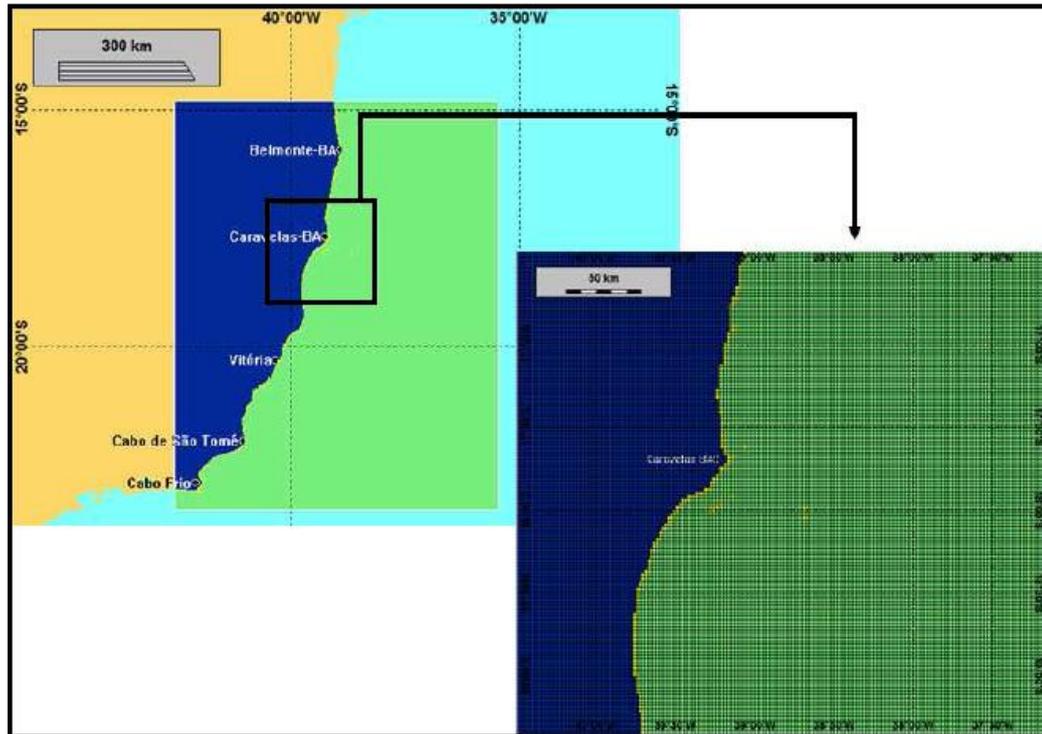


Figura 9 - Grade numérica utilizada nas simulações. Em azul, amarelo e verde se encontram o continente, areia costeira e a água do mar, respectivamente.

4.1.2 Parâmetros Ambientais para Elaboração dos Cenários

O modelo OSCAR necessita de uma série de parâmetros ambientais que devem ser fornecidos pelo usuário. Esses parâmetros influenciam diretamente o intemperismo e o destino do óleo, a saber, temperatura do ar e da água, salinidade, taxa de oxigênio dissolvido, concentração de sedimento em suspensão, percentual do estresse do vento que induz corrente superficial.

A temperatura média do ar no verão, segundo o site do CPTEC/INE (Centro de Pesquisa e Previsão de Tempo e Estudos Climatológicos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), é de 26°C, medidos na região costeira mais próxima da área de estudo.

Os valores da perfilagem de temperatura e salinidade (medidos até 300m da coluna d'água) foram obtidos do banco de dados do WOCE Global Data Resource (World Ocean Circulation Experiment). Um valor médio padrão de 10 mg.L⁻¹ foi usado como taxa de oxigênio dissolvido.

Segundo estudos realizados por Texeira *et al.* (2005) a concentração de sedimentos em suspensão próximo a região do Banco de Abrolhos é de 10 mg.L^{-1} .

A porcentagem de influência do vento na formação de correntes superficiais foi considerado de 1%.

O período sazonal mais crítico para a ocorrência de um derramamento de óleo na região do Banco de Abrolhos é o verão, com a utilização de óleo tipo intermediário, ou seja, com grau API entre 22 e 30 (LEMOS, 2009; MARCHIORO *et al.*, 2005). Sendo assim, as simulações foram realizadas utilizando este cenário.

O modelo OSCAR (6.0) possui uma base de dados com mais de 354 tipos de óleo de diferentes graus API, que podem ser modificados manualmente. Para simular os cenários de derramamentos foi escolhido dessa base de dados um óleo tipo intermediário com 27.6°API . A composição química deste óleo se encontra no gráfico da Figura 10.

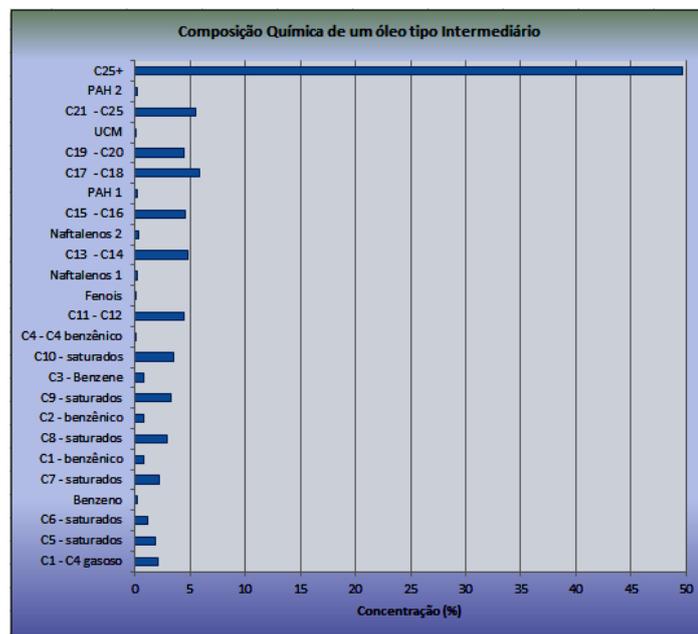


Figura 10 - Composição química de um óleo tipo intermediário escolhido no banco de dados do modelo para simular os derramamentos.

O cenário de derramamento é baseado nas condições dispostas na Resolução CONAMA 398/2008, que exige que a modelagem de destino do óleo seja realizada com o vazamento do volume máximo de reserva de óleo da plataforma, derramando

continuamente por trinta dias. O volume máximo de 5 mil toneladas de óleo foi considerado, implicando que a taxa de vazamento é constante e igual a $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$. Essa estimativa é baseada no Relatório de Impacto Ambiental de produção do bloco BM-J-2 situado na bacia do Jequitinhonha, próximo à região de estudo.

A pluma de óleo derramado foi representada por 1500 partículas. O número de 50 simulações foi estimado a partir de uma série de testes preliminares com o intuito de diminuir o tempo de simulação para que mais cenários pudessem ser simulados.

4.2 ELABORAÇÃO DOS CENÁRIOS DE DERRAME

A metodologia utilizada para a elaboração do mapa de risco probabilístico de destino de óleo no mar do presente estudo e o cumprimento dos objetivos apresentados se resume basicamente a três etapas. A primeira etapa abrangeu a delimitação da área de proteção (Banco de Abrolhos), o estabelecimento dos pontos de derramamento iniciais e a fixação das radiais sobre cada ponto de vazão, sobre as quais os pontos de derramamento foram deslocados. A segunda etapa consistiu na realização de simulações probabilísticas, através das quais foram estimadas as probabilidades de chegada de óleo ao Banco de Abrolhos. A terceira etapa consistiu na análise e agrupamento dos resultados em uma mapa probabilístico final dividido em faixas de probabilidades entre 0 e 10%, 10 e 40%, 40 e 70% e finalmente entre 70 e 100%.

4.2.1 A Delimitação do Banco de Abrolhos e a Escolha dos Pontos de Derramamento

Neste estudo o Banco de Abrolhos foi delimitado pela isóbata de 100 m. A porção oeste é delineada pela linha de costa e as porções norte e sul foram delimitadas de forma a contemplar a região de interesse do presente estudo. Quatro pontos bem distribuídos espacialmente foram escolhidos na borda da área de proteção para serem os pontos de derrame iniciais. A partir desses pontos foram traçadas radiais que convergem em um ponto na costa.

O primeiro ponto de derrame (P1) coincide com as coordenadas do bloco de exploração de petróleo BM-CUM-1, na Bacia de Cumuruxatiba. Os outros três (P2, P3 e P4), são blocos fictícios escolhidos de forma a contemplar toda a delimitação do banco (Figura 11).

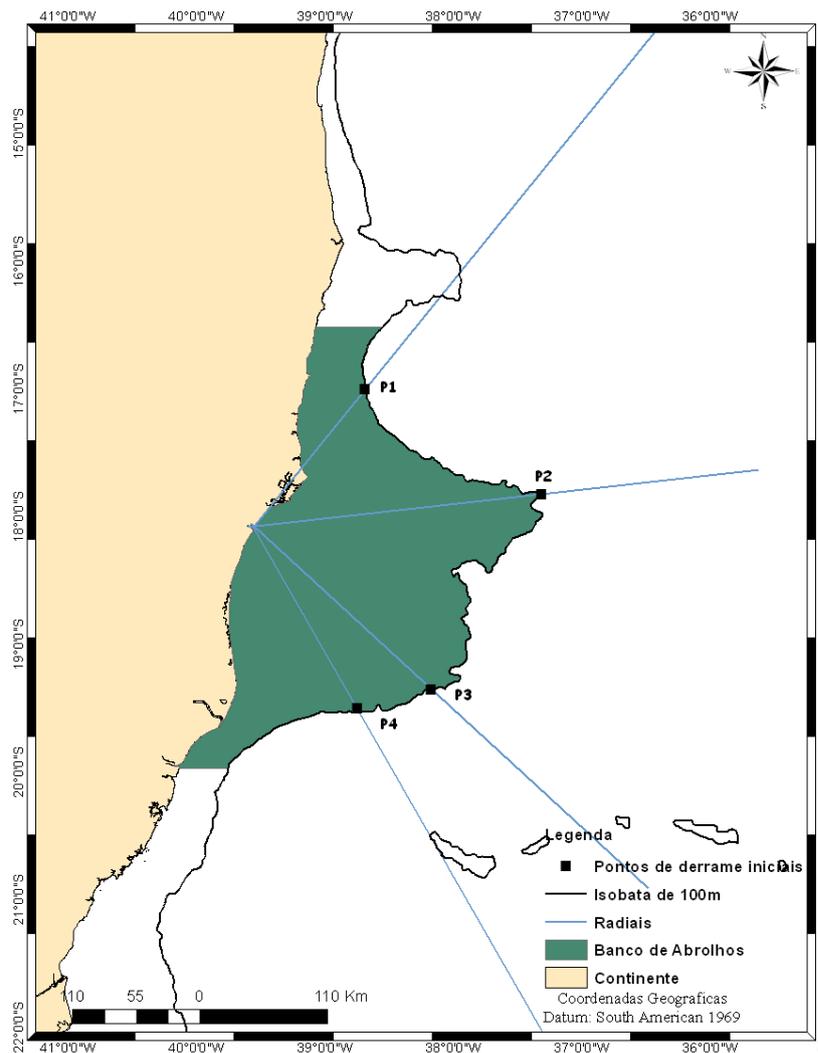


Figura 11 - Delimitação do Banco de Abrolhos com a sobreposição das radiais e os pontos iniciais de derrame de óleo.

4.2.2 Realização das Simulações Probabilísticas

As simulações probabilísticas permitem estabelecer a distribuição espacial das probabilidades de chegada do óleo a partir de um derramamento. O modelo fornece como resultado um mapa contendo a probabilidade da mancha de óleo passar por um determinado ponto numa série de 50 simulações determinísticas. Esse mapa probabilístico precisou ser exportado para o programa ArcGIS®, onde a imagem foi tratada para que fosse nítida a delimitação da mancha e do Banco de Abrolhos.

A primeira simulação probabilística aconteceu com o derramamento partindo do primeiro ponto de derrame (P1). Com o resultado dessa simulação ficou conhecida à

máxima probabilidade de chegada de óleo ao banco neste cenário. Então o ponto de lançamento de óleo foi sendo afastado do banco sobre a Radial 1 até que fosse encontrada a distância onde o risco máximo de o banco ser atingido por óleo passasse a ser 70%. Posteriormente, este mesmo ponto foi novamente deslocado até onde a maior probabilidade fosse de 40%, e assim sucessivamente para 10 e 0%. Assim, determinou-se a máxima probabilidade do óleo chegar ao banco, com o derramamento ocorrendo na sua borda e a distância mínima que ele deve se localizar para que a probabilidade de chegada do óleo ao banco também seja mínima ou nula. Esse procedimento foi refeito para todos os outros três pontos de derrame iniciais (P2, P3 e P4).

4.3 CONFECÇÃO DO MAPA PROBABILÍSTICO FINAL

Os pontos de derrame de óleo da Bacia de Cumuruxatiba (Radial 1), Bacia de Mucuri (Radiais 2 e 3) e Bacia do Espírito Santo (Radial 4) foram analisados separadamente e conjuntamente para elaboração do mapa probabilístico final.

Ao final de todas as simulações o mapa final foi confeccionado contendo as distâncias dos pontos de derrame em relação ao banco para cada faixa probabilística em todas as radiais. Os pontos com as mesmas probabilidades foram ligados por um polígono formando então as faixas probabilísticas finais.

5 RESULTADOS

Para diminuição do número de simulações e otimização do tempo, o distanciamento dos pontos onde houve o derramamento ocorreu de acordo com a resposta dada pelo modelo nas simulações anteriores. Cada simulação recebeu uma identificação contendo o nome do ponto inicial de onde partiu o primeiro derramamento e um número referente à ordem da tentativa de cada simulação, por exemplo, a simulação P4_T1 foi à primeira tentativa realizada na radial 4.

5.1 CENÁRIOS ONDE O DERRAME OCORREU SOBRE A RADIAL 1 (R1)

Os resultados probabilísticos de derramamento de 192m³ de óleo intermediário durante 30 dias no período de verão nos blocos referentes à Radial 1 se encontram na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados diferenciais de 22 simulações probabilísticas de derramamento no verão de 192m³ de um óleo intermediário nos pontos de vazão da R1.

Ponto	Dist. (km)	Prob. máxima de o derrame atingir o banco (%)	Latitude	Longitude
P1_T1	0	70 - 100	16° 59.9582'	38° 41.4281'
P1_T2	10	70 - 100	16° 55.8424'	38° 37.4884'
P1_T3	20	70 - 100	16° 51.7753'	38° 34.2305'
P1_T4	30	70 - 100	16° 47.4188'	38° 30.7458'
P1_T5	40	70 - 100	16° 43.4567'	38° 27.4195'
P1_T6	50	70 - 100	16° 38.9431'	38° 24.0325'
P1_T7	100	70 - 100	16° 17.6864'	38° 6.6416'
P1_T9	150	70 - 100	15° 56.2536'	37° 49.6134'
P1_T10	200	70 - 100	15° 34.7578'	37° 32.7498'
P1_T22	203	70 - 100	15° 33.6227'	37° 31.1067'
P1_T19	205	40 - 70	15° 32.4942'	37° 30.6433'
P1_T11	210	40 - 70	15° 30.2275'	37° 28.8943'
P1_T12	220	40 - 70	15° 27.1722'	37° 25.8506'
P1_T20	222	10 - 40	15° 25.3257'	37° 24.7876'
P1_T17	225	10 - 40	15° 23.3808'	37° 23.0250'
P1_T18	227	10 - 40	15° 22.4948'	37° 22.7187'
P1_T15	230	0 - 10	15° 22.0922'	37° 21.7882'
P1_T13	240	0 - 10	15° 18.0338'	37° 19.1144'
P1_T16	250	0 - 10	15° 13.0896'	37° 14.7038'
P1_T21	255	0	15° 11.5625'	37° 13.3765'
P1_T14	260	0	15° 8.9580'	37° 11.4778'
P1_T8	290	0	14° 55.6960'	37° 1.1510'

Como mostra a Tabela 2 foram realizadas um total de vinte e duas simulações probabilísticas sobre a Radial 1 para encontrar as distâncias referentes às probabilidades entre 100 - 70%, 70 - 40%, 40 - 10% e 10 - 0%. Os pontos finais de

cada faixa probabilística são P1_T19, P1_T20, P1_T15 e P1_T21, respectivamente.

O comportamento da mancha probabilística de óleo mostra que o derramamento referente ao ponto de derrame inicial (Figura 12) da Radial 1 oferece grande risco de contaminação não só para todo o Banco de Abrolhos, mas principalmente às regiões onde se encontram às unidades de preservação do PARNAM de Abrolhos, e uma grande faixa de área costeira (aproximadamente 320 km). A área dentro do banco com máxima probabilidade de ser atingida quando o derrame acontece sobre o ponto de derrame inicial P1 possui cerca de 520 km², na qual atinge uma faixa aproximada de 50 km da costa, chegando a atingir o litoral de cidades baianas, como Caravelas e Alcobaça.

A região do entorno do PARNAM de Abrolhos e do Banco apresentou risco de contaminação máxima em todos os pontos distanciados á menos de 150 km e 205 km, respectivamente. De acordo com as simulações realizadas sobre a R1, o banco corre risco de contaminação, mesmo que mínimo, com derrames que ocorram até 255 km de distância do limite leste do banco, ou seja, a partir da simulação P1_T20 (Figura 21), o risco do mesmo ser atingido com o derrame ocorrendo nas condições simuladas é nulo. É importante salientar que foi considerado que nenhuma parcela do banco, mesmo que muito pequena, poderia ser atingida em nenhuma das cinquenta simulações.

Os mapas probabilísticos referentes às simulações onde o derrame aconteceu no ponto inicial e em cada um dos pontos finais que limitam as faixas probabilísticas estão dispostos nessa mesma ordem nas Figuras 12 a 16.

No cenário onde o derrame de óleo aconteceu até aproximadamente 203km do limite leste do banco o padrão dispersivo da mancha de óleo se mostrou direcionado para sul oferecendo um risco muito alto de contaminação ao banco, mais especificamente às regiões centro-oeste do banco, como é o caso das áreas de preservação e parte do litoral da Bahia. No entanto, os cenários simulados a distancias maiores que cerca de 240 km mostram que a trajetória da mancha de óleo ao invés de fluir para sul, apresenta uma trajetória circular.

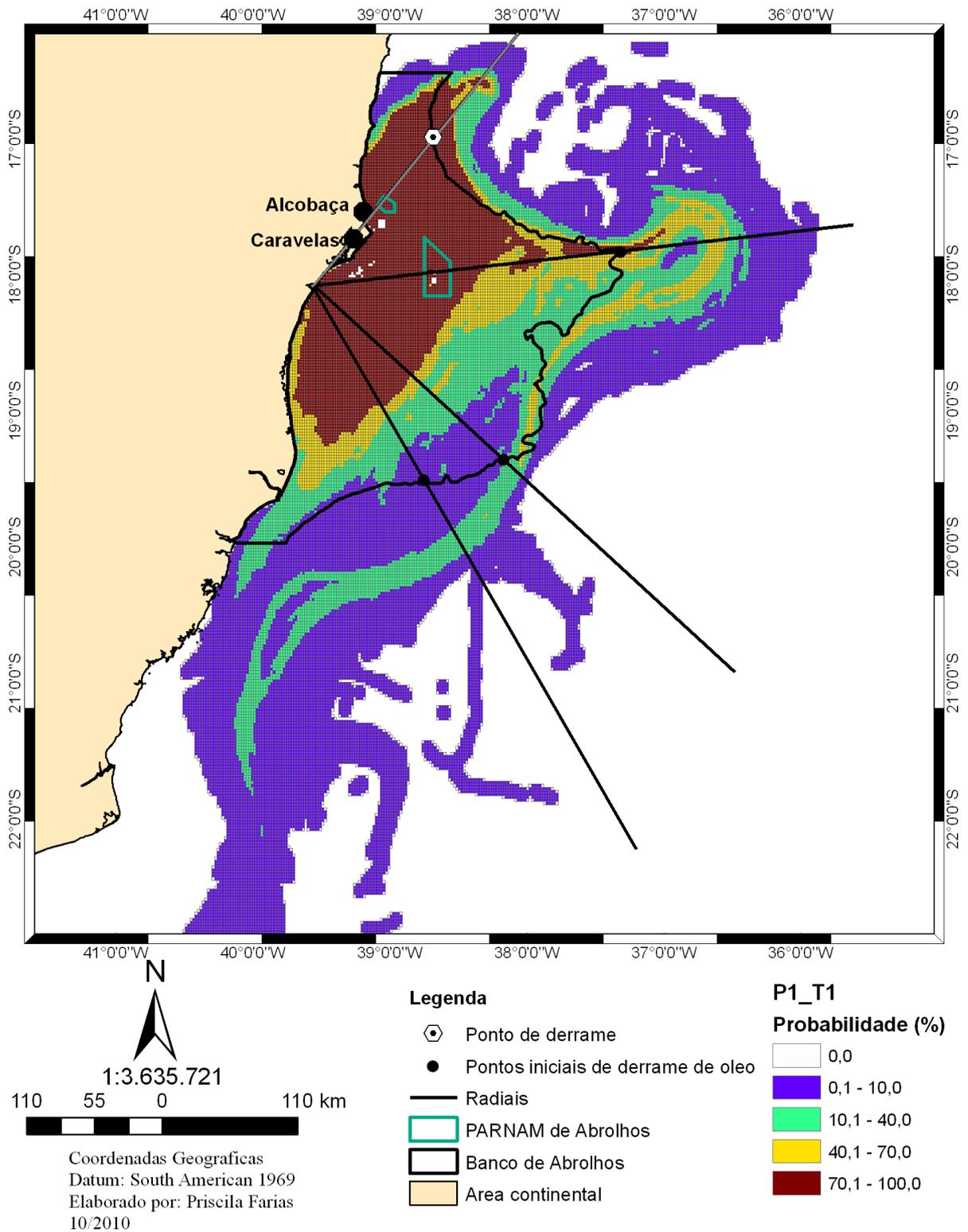


Figura 12 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame situa-se no limite leste do Banco de Abrolhos sobre a Radial 1.

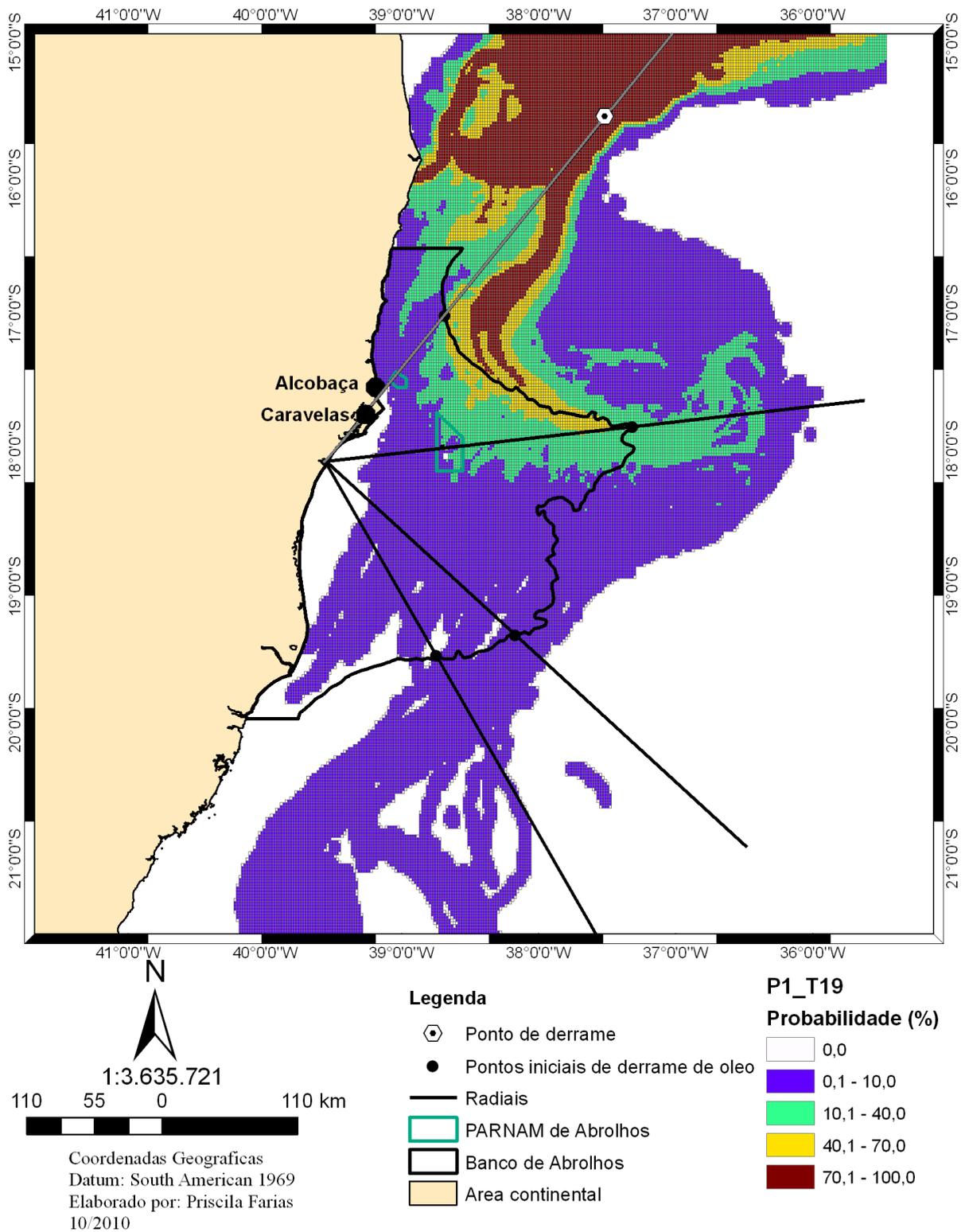


Figura 13 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 205 km do limite leste do banco sobre a Radial 1 e limita a faixa probabilística de 70 – 100%.

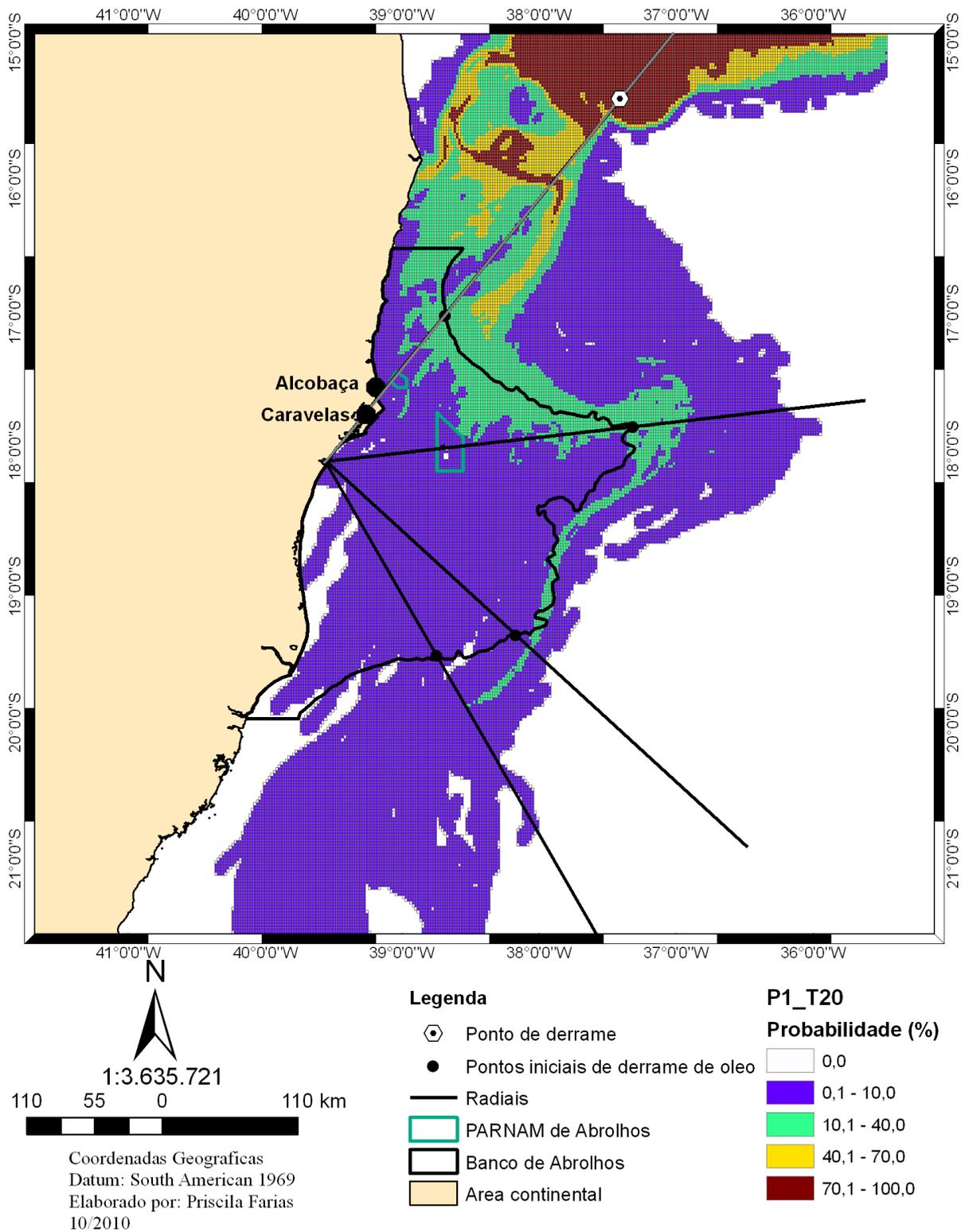


Figura 14 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 222 km do limite leste do banco sobre a Radial 1 e limita a faixa probabilística de 40 – 70%.

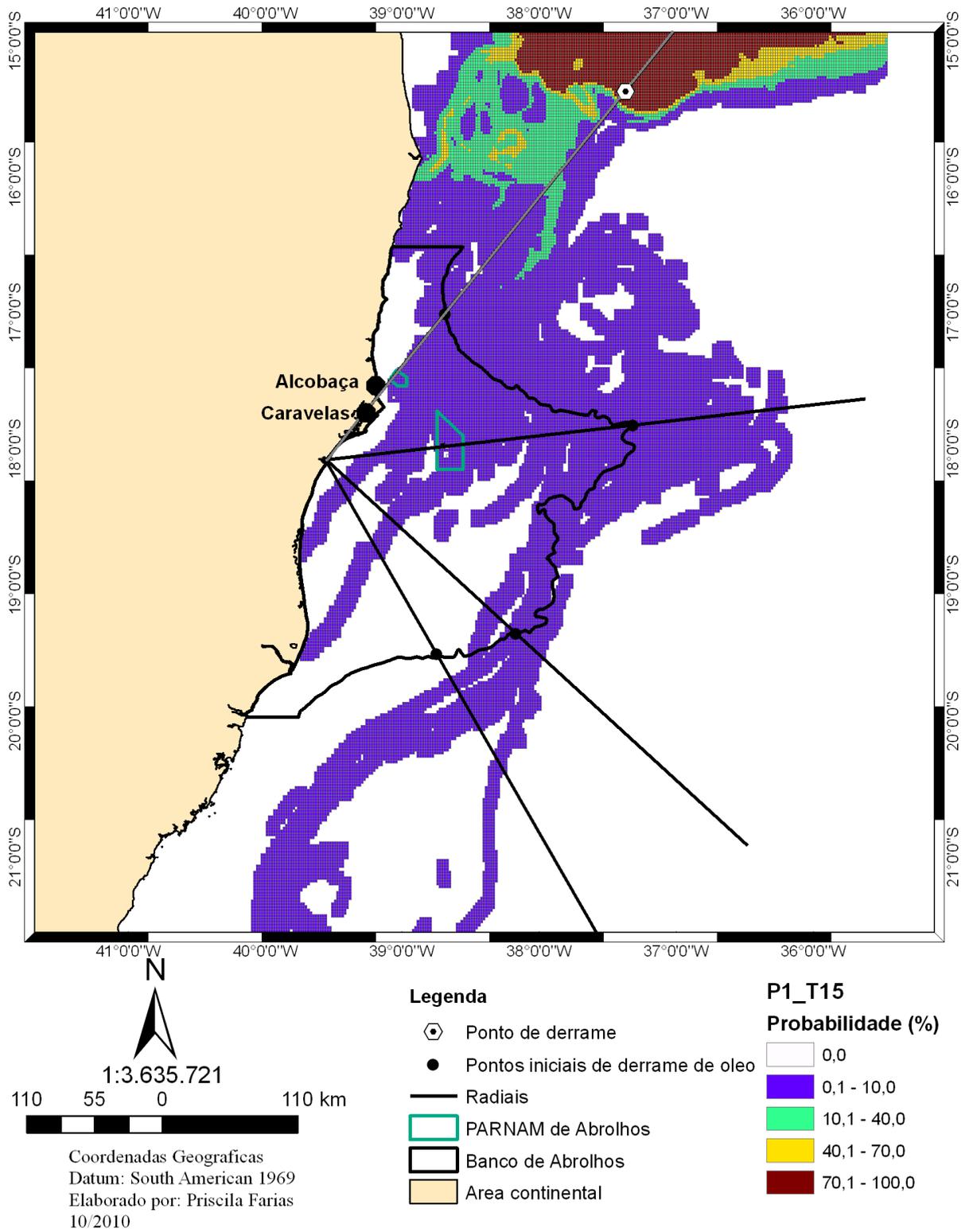


Figura 15 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m3 de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 230 km do limite leste do banco sobre a Radial 1 e limita a faixa probabilística de 10 – 40%.

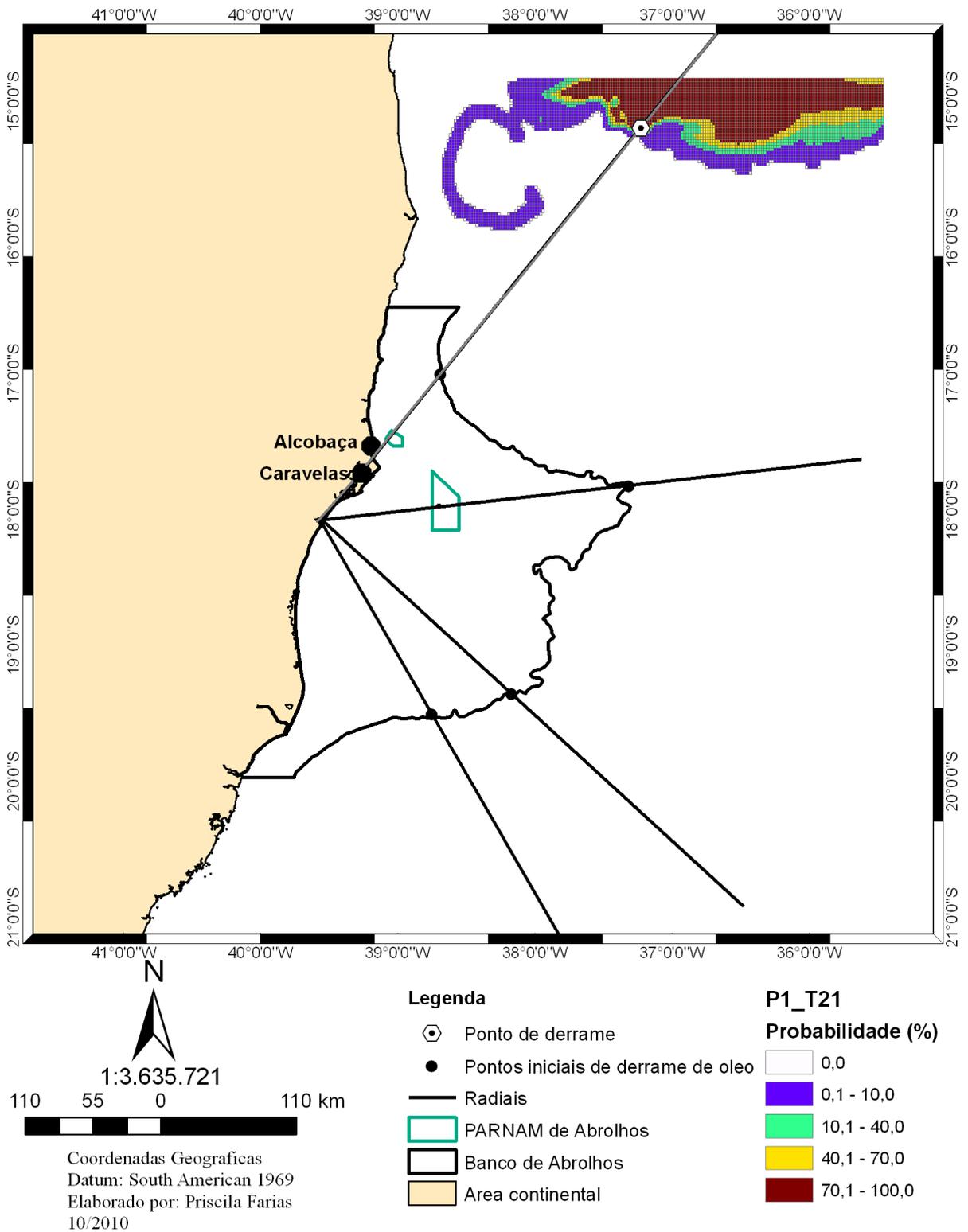


Figura 16 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 255 km do limite leste do banco sobre a Radial 1 e limita a faixa probabilística de 0 - 10%.

Observe que a mancha probabilística encontra um limite mais a norte do banco, referente à grade numérica. Esta grade é transparente à mancha, ou seja, a pluma de óleo ao atingir esse limite continua sua trajetória, não oferecendo risco do óleo retornar, interferindo nos resultados.

5.2 CENÁRIOS ONDE O DERRAME OCORREU SOBRE A RADIAL 2 (R2)

Os resultados probabilísticos de derramamento de 192m³ de óleo intermediário durante 30 dias no período de verão nos blocos referentes à Radial 2 são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados diferenciais de dezesseis simulações probabilísticas de derramamento no verão de 192m³ de um óleo intermediário nos pontos de vazão da R2.

Ponto	Dist. (km)	Prob. máxima de o derrame atingir o banco (%)	Latitude	Longitude
P2_T1	0	70 - 100	17° 49.1879'	37° 18.8850'
P2_T2	10	70 - 100	17° 48.6806'	37° 13.2836'
P2_T3	20	70 - 100	17° 47.9860'	37° 7.7749'
P2_T4	30	70 - 100	17° 47.3310'	37° 2.2828'
P2_T5	40	70 - 100	17° 46.6994'	36° 56.0884'
P2_T6	50	70 - 100	17° 46.1064'	36° 51.2951'
P2_T7	60	70 - 100	17° 45.6365'	36° 45.5158'
P2_T8	70	70 - 100	17° 44.9249'	36° 40.1984'
P2_T9	80	70 - 100	17° 44.0631'	36° 33.5716'
P2_T10	90	70 - 100	17° 43.8039'	36° 28.1263'
P2_T11	100	70 - 100	17° 43.0392'	36° 23.1180'
P2_T12	110	70 - 100	17° 42.4619'	36° 16.5008'
P2_T16	150	70 - 100	17° 39.7785'	35° 54.0024'
P2_T15	160	70 - 100	17° 38.8982'	35° 48.1105'
P2_T14	170	70 - 100	17° 38.5942'	35° 42.8824'
P2_T13	180	70 - 100	17° 37.7400'	35° 37.6948'

Os pontos de derramamento foram distanciados do banco até atingir aproximadamente a linha limite da Zona Econômica Exclusiva – ZEE (situada a 200 milhas marítimas da costa), pois a partir desse espaço marítimo as águas passam a não ser territoriais, ou seja, o país não têm prerrogativas na utilização dos recursos, tanto vivos como não vivos, e responsabilidade na sua gestão.

No total foram realizadas dezesseis simulações probabilísticas sobre a Radial 2 para se encontrar as distâncias referentes às probabilidades entre 100 - 70%, 70 - 40%, 40 - 10% e 10 - 0%. No entanto, somente a faixa de probabilidade máxima foi encontrada (70 - 100%), ou seja, mesmo se distanciando os pontos de derrame até 180 km, a probabilidade de o banco ser afetado é máxima. É importante lembrar que

esta distância pode ser ainda maior já que os cenários somente foram simulados até o limite da ZEE.

Na simulação onde o derrame aconteceu sobre o limite leste do banco (Figura 17), uma área de 646 Km² teve probabilidade máxima de ser atingida. Todos os resultados mostram que somente a região Sudeste do banco teve probabilidade de ser atingida, ou seja, nas condições simuladas é provável que a área de proteção ambiental e a região da linha de costa não sejam afetadas em nenhum dos cenários simulados sobre a Radial 2.

As Figuras 17 a 19 ilustram o comportamento das manchas probabilísticas das simulações P2_T1, P2_T5 e P2_T16, respectivamente.

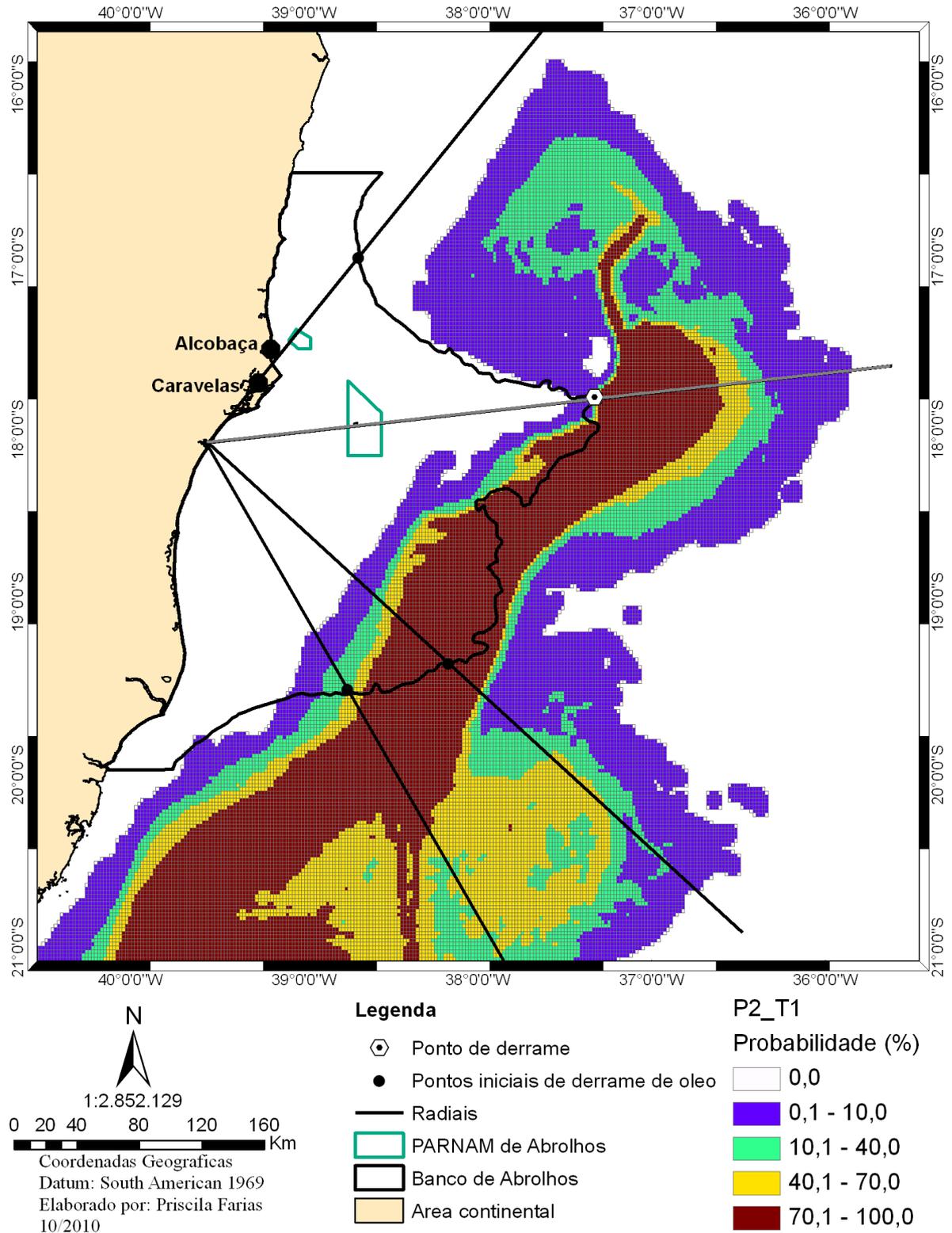


Figura 17 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame situa-se no limite leste do Banco de Abrolhos sobre a Radial 2.

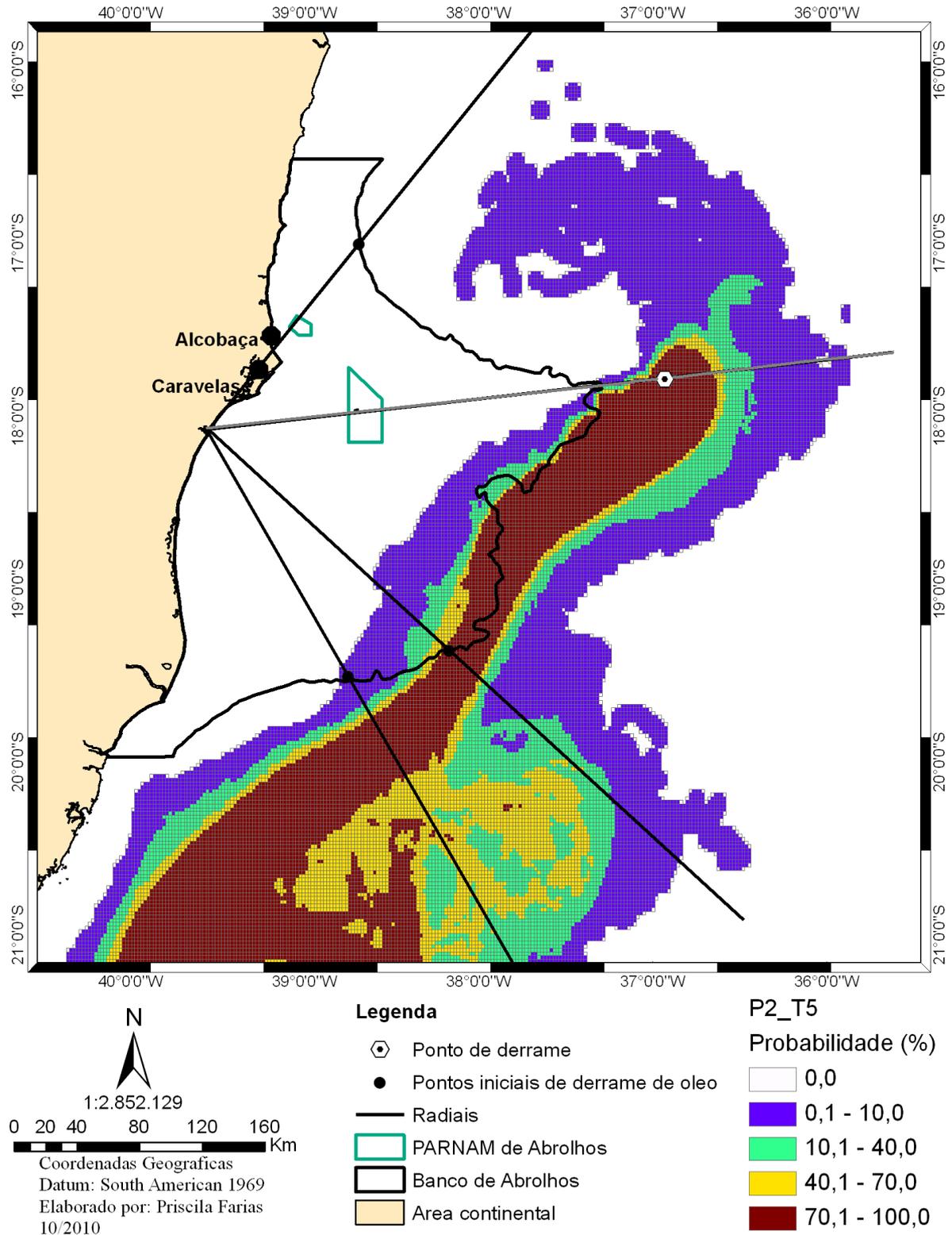


Figura 18 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 40 km do limite leste do banco sobre a Radial 2.

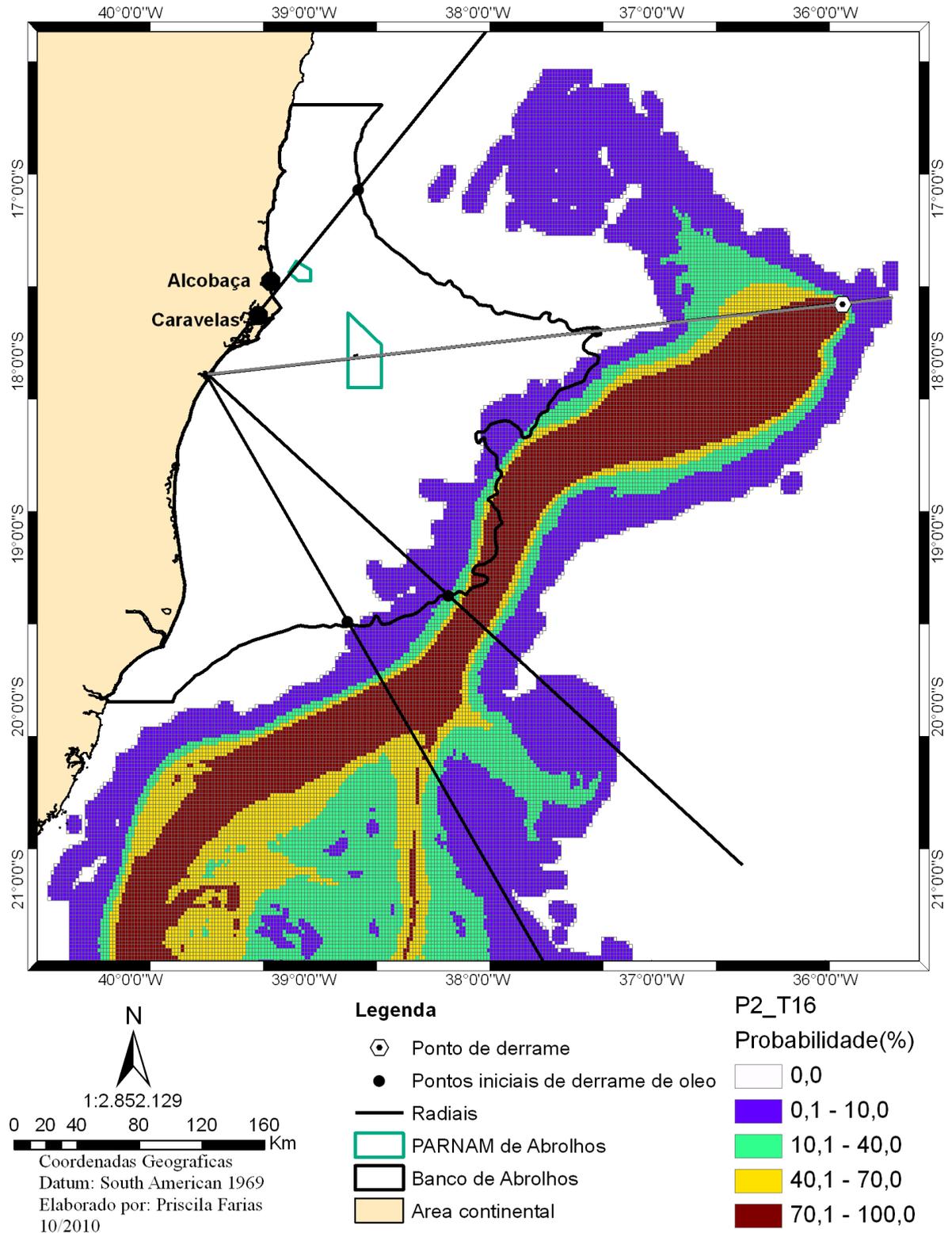


Figura 19 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 150 km do limite leste do banco sobre a Radial 2.

5.3 CENÁRIOS ONDE O DERRAME OCORREU SOBRE A RADIAL 3 (R3)

Os resultados probabilísticos de derramamento de 192m³ de óleo intermediário durante 30 dias no período de verão nos blocos referentes á Radial 3 são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Planilha contendo as probabilidades máximas em que o óleo atingiu o banco em relação ao distanciamento dos derrames simulados na R3.

Ponto	Distancia (km)	Prob. máxima de o derrame atingir o banco (%)	Latitude	Longitude
P3_T1	0	70 - 100	19° 21.0709'	38°10.4059'
P3_T3	1	70 - 100	19° 21.3585'	38° 9.6831'
P3_T4	2	70 - 100	19° 21.8555'	38° 9.3508'
P3_T5	3	70 - 100	19° 22.4934'	38° 9.2222'
P3_T6	4	40 - 70	19° 22.5831'	38° 8.5078'
P3_T7	5	40 - 70	19° 23.2440'	38° 8.3918'
P3_T11	6	10 - 0	19° 23.4850'	38° 7.7812'
P3_T12	7	10 - 0	19° 24.0863'	38° 7.4379'
P3_T16	7,3	10 - 0	19° 23.8428'	38° 7.1645'
P3_T15	7,5	10 - 0	19° 24.1389'	38° 7.3446'
P3_T13	8	0	19° 24.4165'	38° 7.0780'
P3_T14	9	0	19° 24.8047'	38° 6.7026'

Dezesseis simulações probabilísticas foram realizadas sobre a Radial 3 para encontrar as distâncias referentes às probabilidades entre 100 - 70%, 70 - 40%, 40 - 10% e 10 - 0%. No entanto, a faixa probabilística de 40 - 10% não foi encontrada.

Os resultados probabilísticos dos derrames que aconteceram sobre a Radial 3 mostram que este cenário é o menos crítico em relação às outras três radiais. Na simulação onde o derrame aconteceu sobre o limite leste do banco uma área 242 km² teve probabilidade máxima de ser atingida. De acordo com os resultados, a probabilidade de o óleo afetar o banco passa a ser nula a partir de 8 km. Tanto a região costeira quanto as áreas de preservação ambiental que estão situadas sobre o banco, não apresentam riscos de serem atingidas pelo óleo que é derramado sobre a Radial 3.

Os mapas probabilísticos referentes às simulações P3_T1, P3_T6 e P3_T11 e P3_T13 estão dispostos, respectivamente, nas Figuras 20 a 23.

Os derramamentos oriundos da Radial 3 resultaram mapas com manchas probabilísticas de grande instabilidade, cobrindo áreas muito grandes sem contudo oferecer altos riscos à região do Banco de Abrolhos.

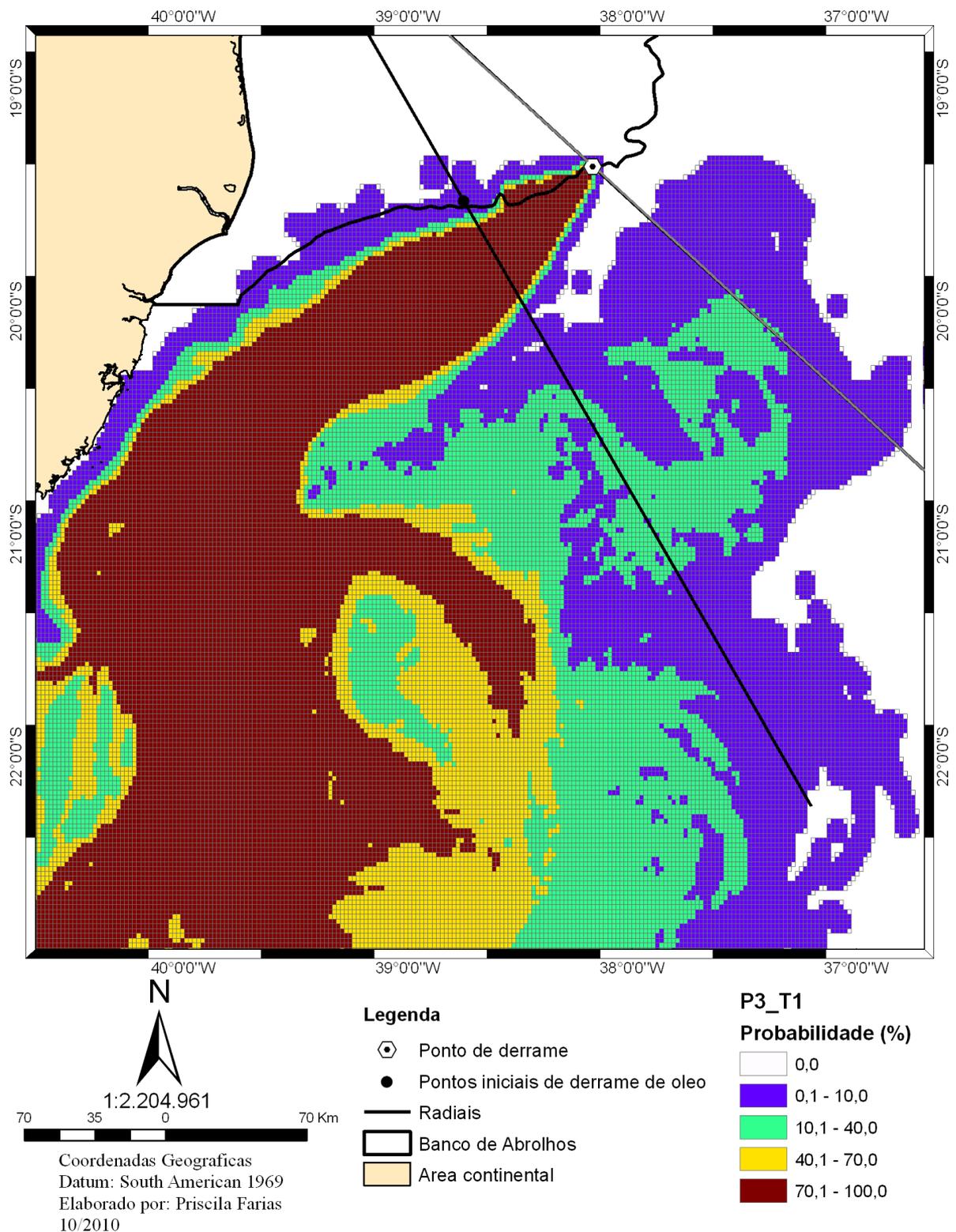


Figura 20 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame situa-se no limite leste do Banco de Abrolhos sobre a Radial 3.

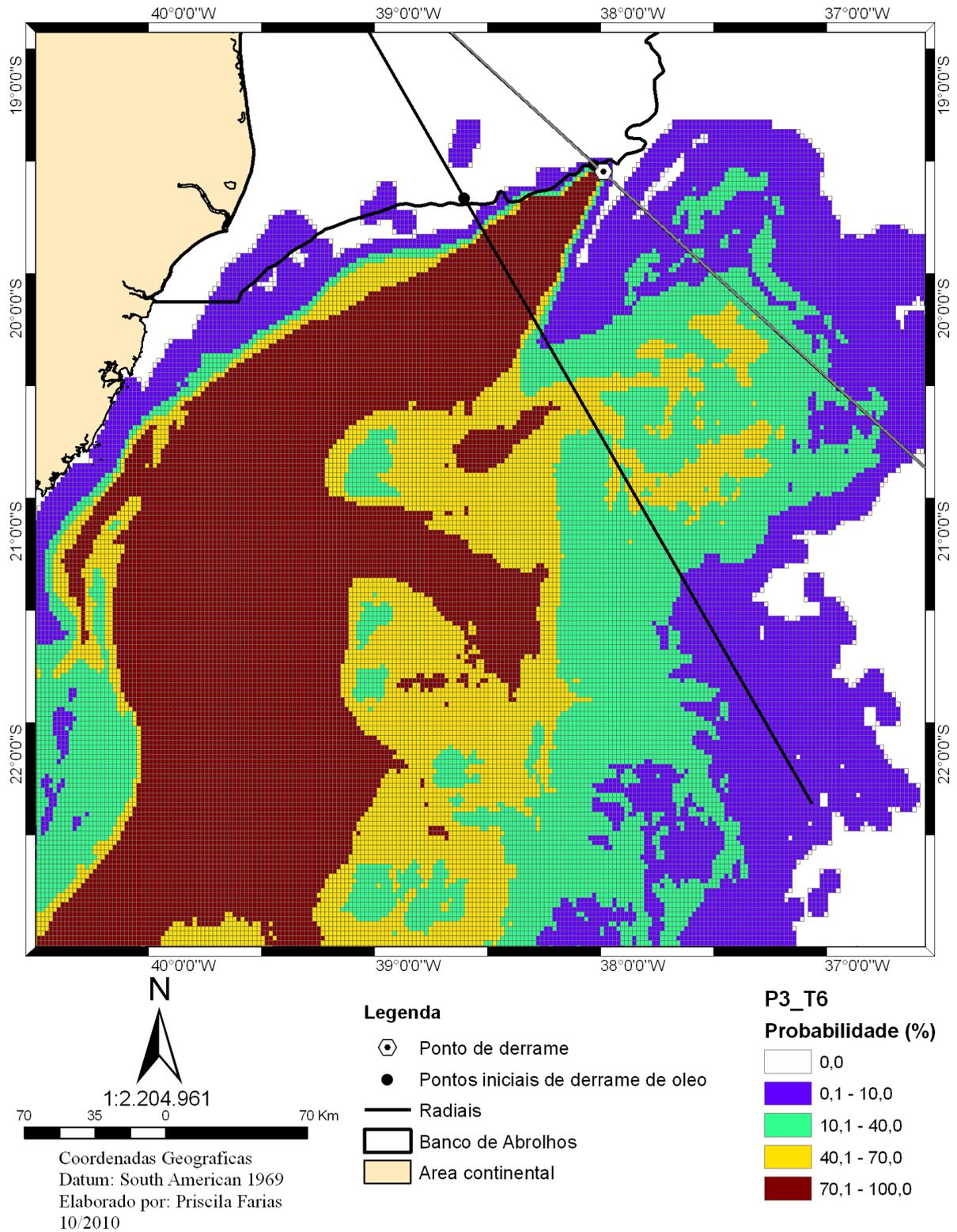


Figura 21 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 4 km do limite leste do banco sobre a Radial 3 e limita a faixa probabilística de 70 – 100%.

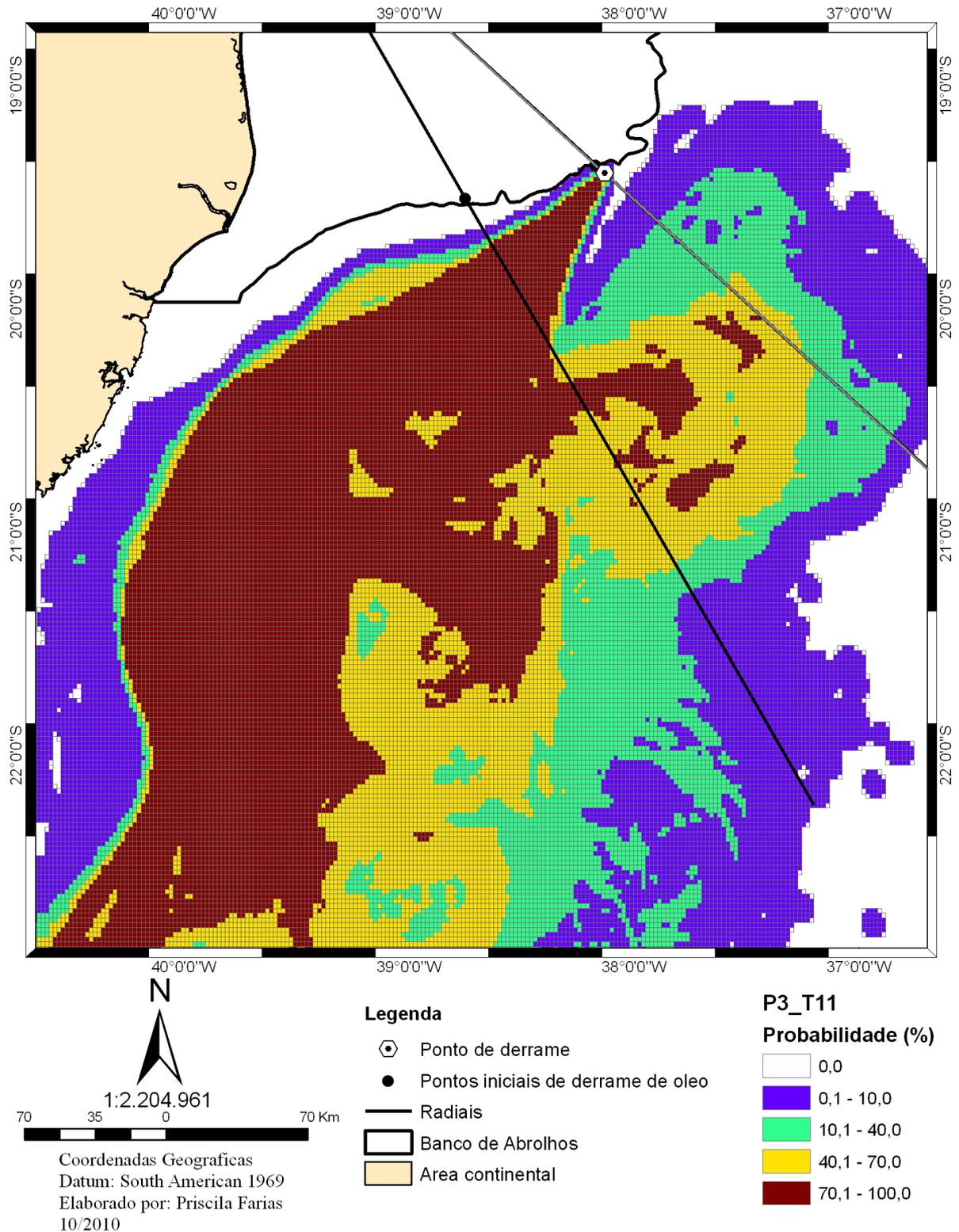


Figura 22 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 6 km do limite leste do banco sobre a Radial 3 e limita a faixa probabilística de 40 – 70%.

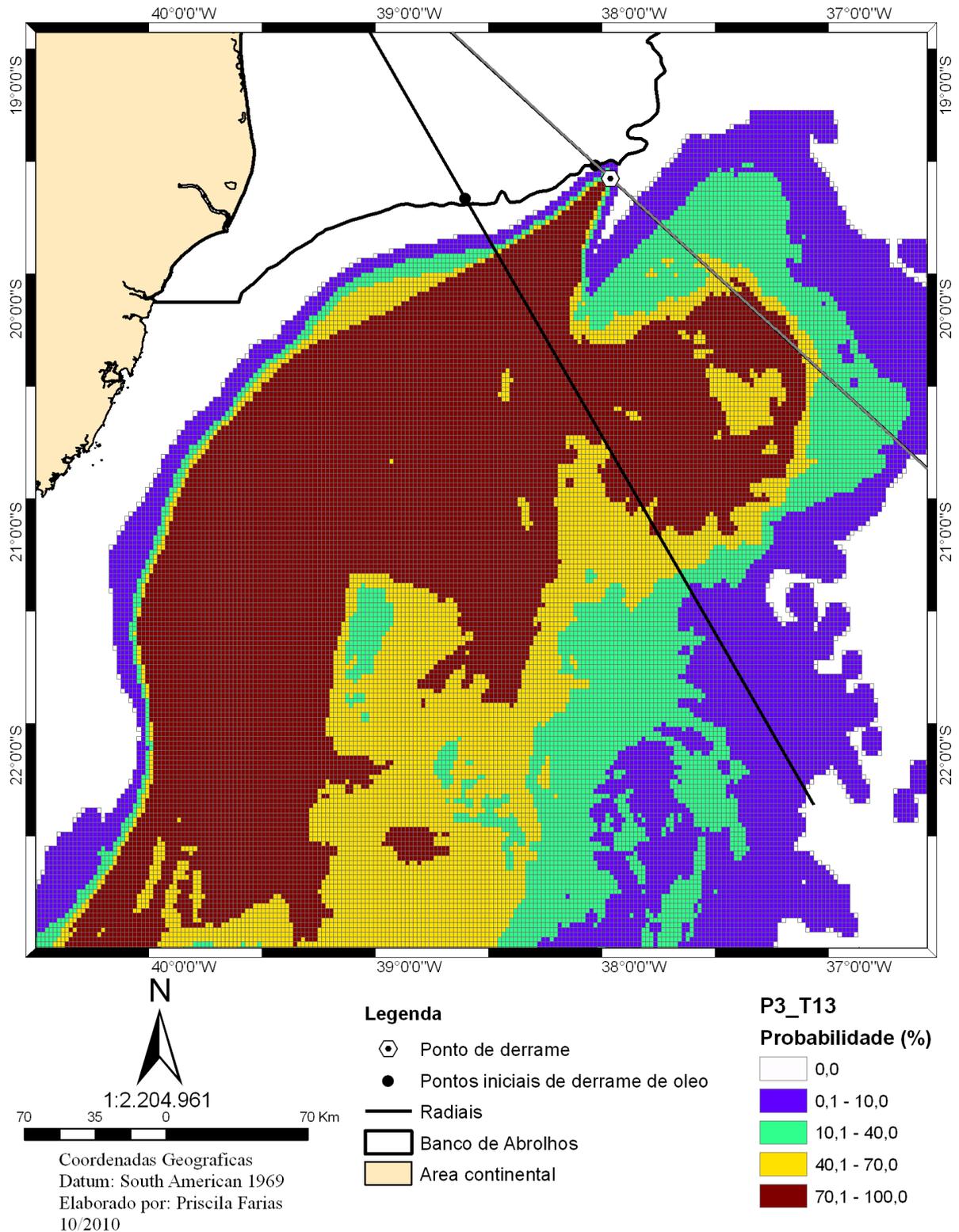


Figura 23 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 8 km do limite leste do banco sobre a Radial 3 e limita a faixa probabilística de 0 - 10%.

5.4 CENÁRIOS ONDE O DERRAME OCORREU SOBRE A RADIAL 4 (R4)

Nestes cenários foram realizadas um total de dezessete simulações probabilísticas sobre a R4 para encontrar as distâncias referentes às probabilidades entre 100-70%, 70-40%, 40-10% e 10-0%. Os resultados finais dessas simulações estão resumidos na Tabela 5 e serão apresentados mais a frente em forma de mapas de probabilidade.

Tabela 5 - Planilha contendo as probabilidades máximas em que o óleo atingiu o banco em relação ao distanciamento dos derrames simulados na R4.

Ponto	Distância (km)	Prob. Máxima do derrame atingir o banco (%)	Latitude	Longitude
P4_T1	0	70 - 100	19°30.1436'	38°45.0001'
P4_T6	4	70 - 100	19°32.4023'	38°44.2185'
P4_T5	5	70 - 100	19°32.9317'	38°43.8712'
P4_T13	6	70 - 100	19°33.2535'	38°43.7051'
P4_T7	7	40 - 70	19°33.7321'	38°43.4391'
P4_T8	9	40 - 70	19°34.1296'	38°41.8656'
P4_T4	10	40 - 10	19°35.3288'	38°42.5251'
P4_T10	11	40 - 10	19°35.7715'	38°42.4097'
P4_T11	12	0 - 10	19°36.1472'	38°42.0099'
P4_T9	15	0 - 10	19°37.4956'	38°41.2990'
P4_T3	25	0 - 10	19°42.0982'	38°38.5983'
P4_T2	33	0 - 10	19°46.1010'	38°36.3250'
P4_T14	35	0 - 10	19°47.2052'	38°35.7873'
P4_T15	37	0 - 10	19°47.9968'	38°35.3970'
P4_T16	38	0 - 10	19°48.5320'	38°34.9478'
P4_T17	39	0 - 10	19°48.9536'	38°34.7328'
P4_T12	40	0	19°49.3877'	38°34.4579'

Nos cenários simulados sobre a Radial 4, a faixa probabilística máxima estabelecida no presente estudo (70% a 100%) é representada pela simulação P4_T7, situada a uma distância aproximadamente 7 km do ponto inicial de derrame. A partir desse ponto, os riscos de um derrame atingir o banco passam a ser menores que 70%. Neste cenário não há massa de óleo chegando à região costeira, no entanto, no cenário P4_T1 uma área do banco de aproximadamente 231 Km² pode ser atingida.

Os pontos finais de cada faixa probabilística são P4_T1, P4_T7, P4_T4, P4_T11 e P1_T12, respectivamente. Os mapas probabilísticos referentes às simulações onde o derrame aconteceu no ponto inicial e em cada um dos pontos finais estão disposto nessa mesma ordem nas Figuras 24 a 28 .

As manchas probabilísticas da Radial 4 mostram que ao sul de 19°S houve uma continuidade da Corrente do Brasil até o sul do estado do Espírito Santo com espalhamento do óleo a partir de 22°S,

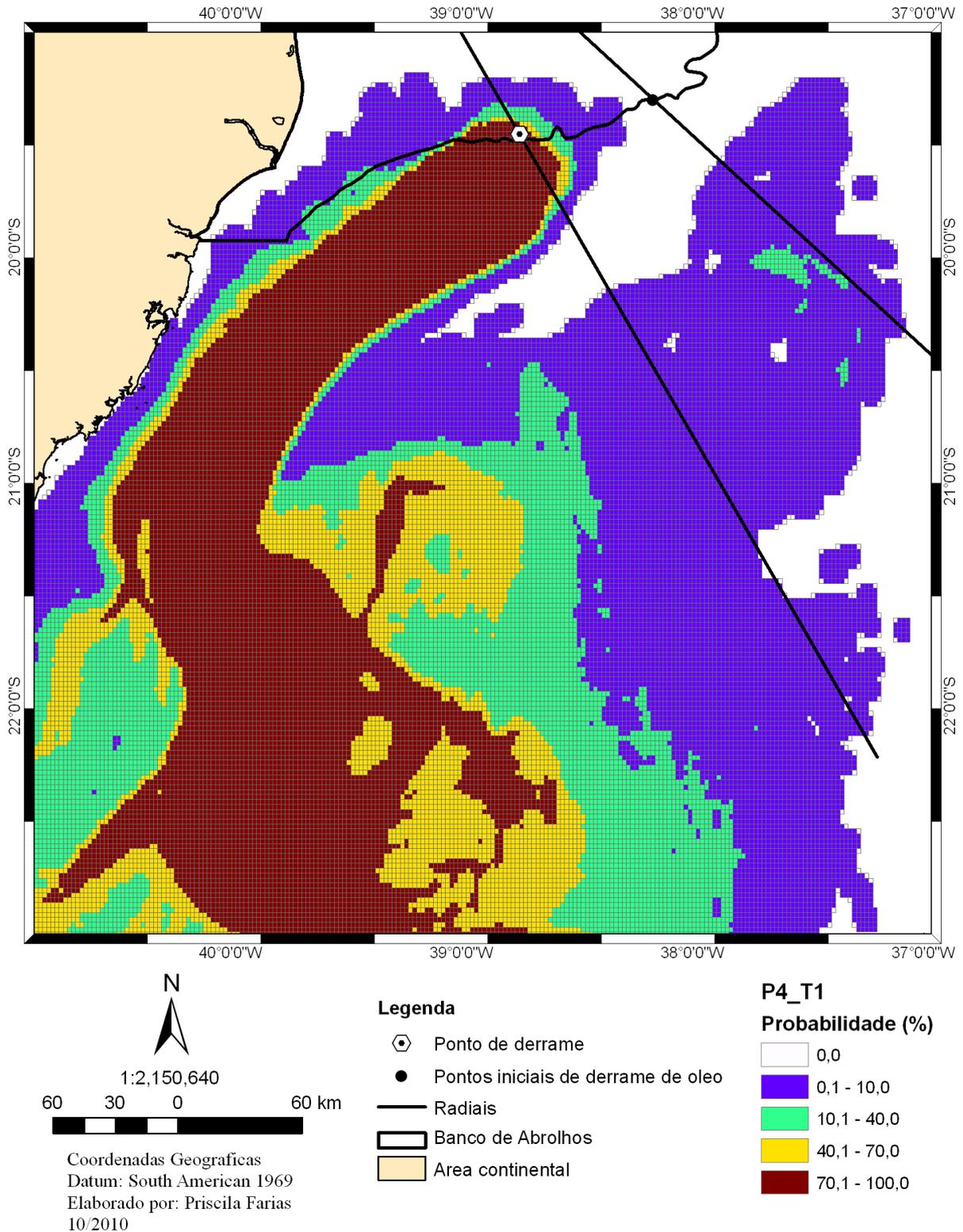


Figura 24 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame situa-se no limite leste do Banco de Abrolhos sobre a Radial 4.

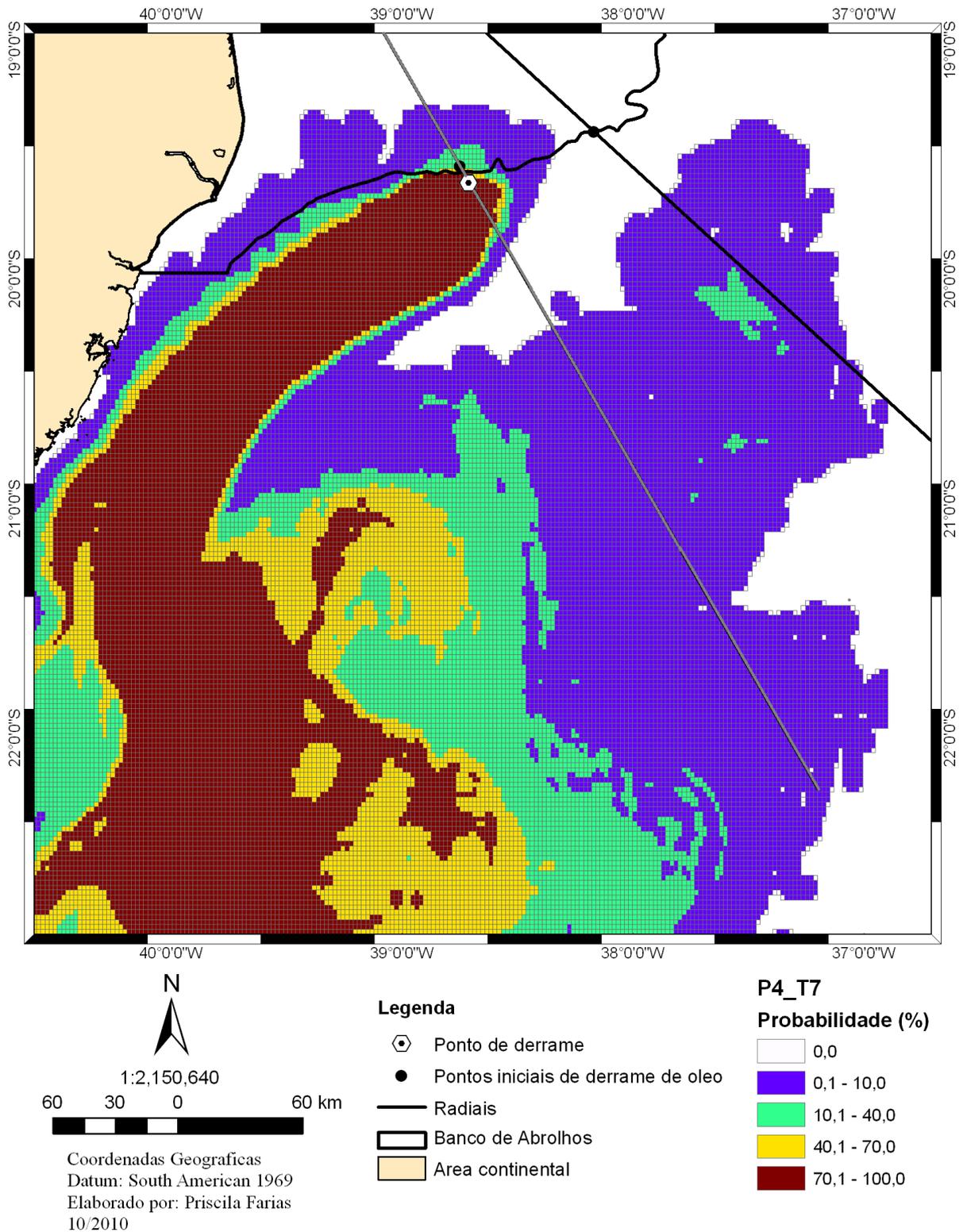


Figura 25 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 7 km do limite leste do banco sobre a Radial 4 e limita a faixa probabilística de 70 – 100%.

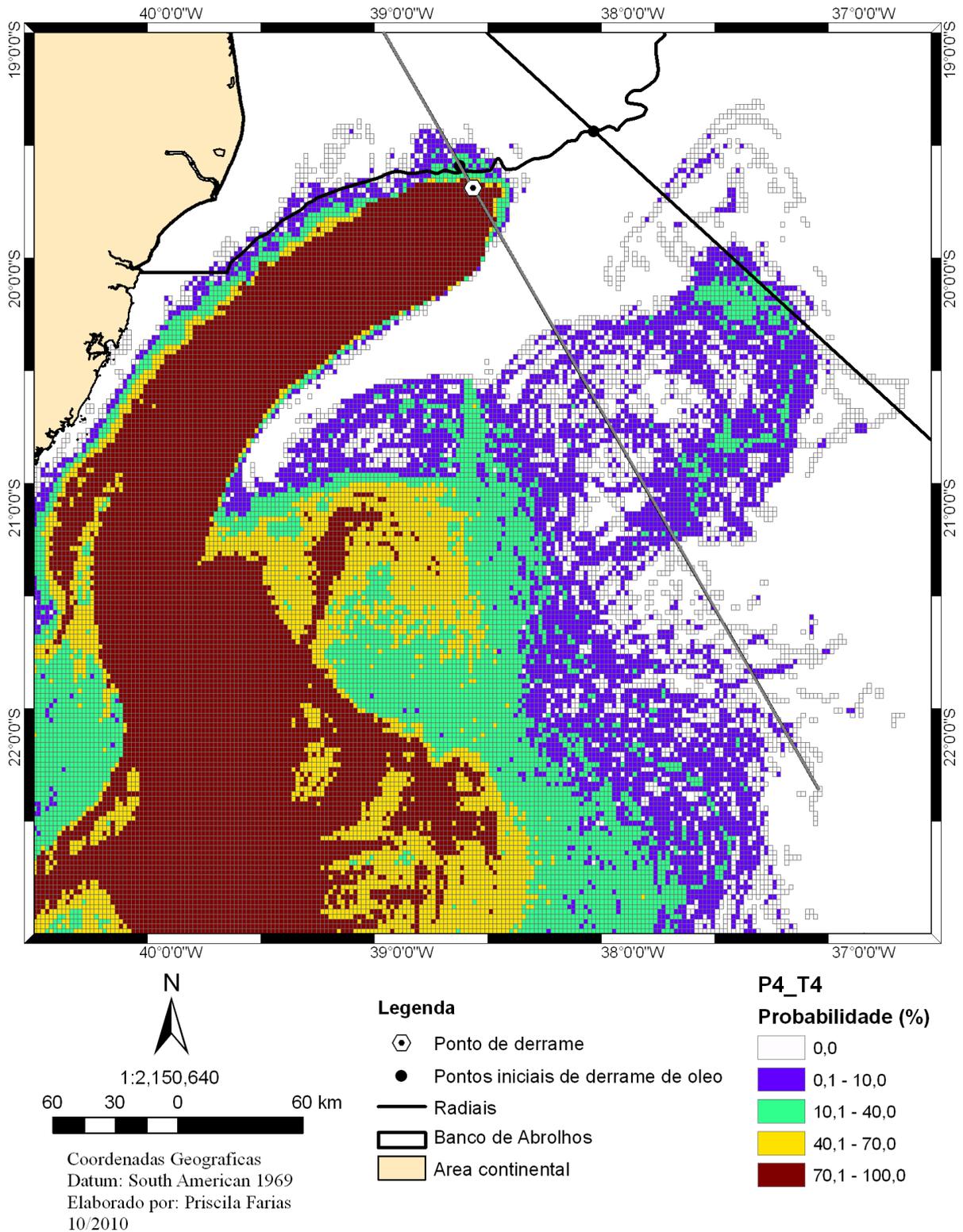


Figura 26 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 10 km do limite leste do banco sobre a Radial 3 e limita a faixa probabilística de 40 – 70%.

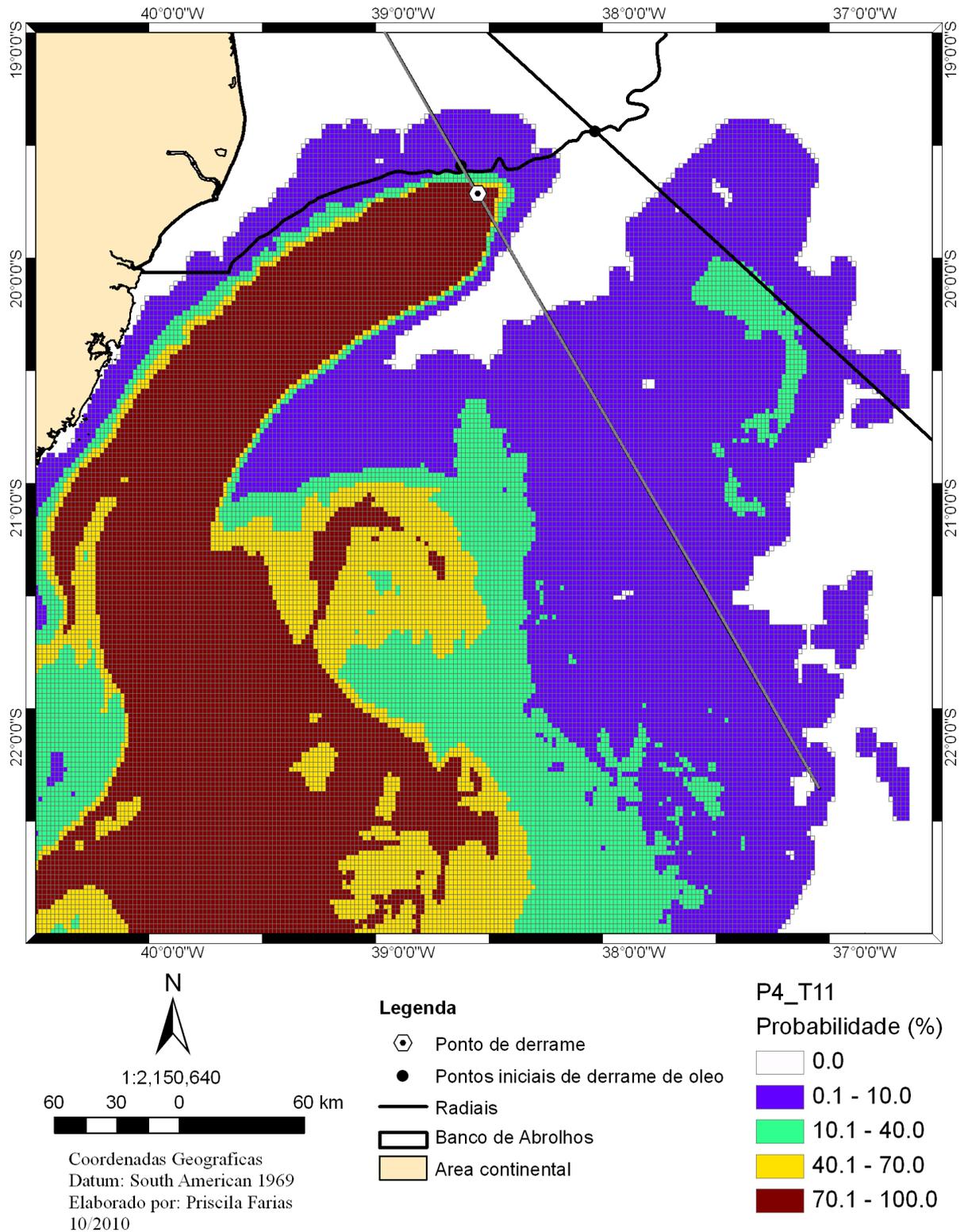


Figura 27 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 12 km do limite leste do banco sobre a Radial 1 e limita a faixa probabilística de 10 – 40%.

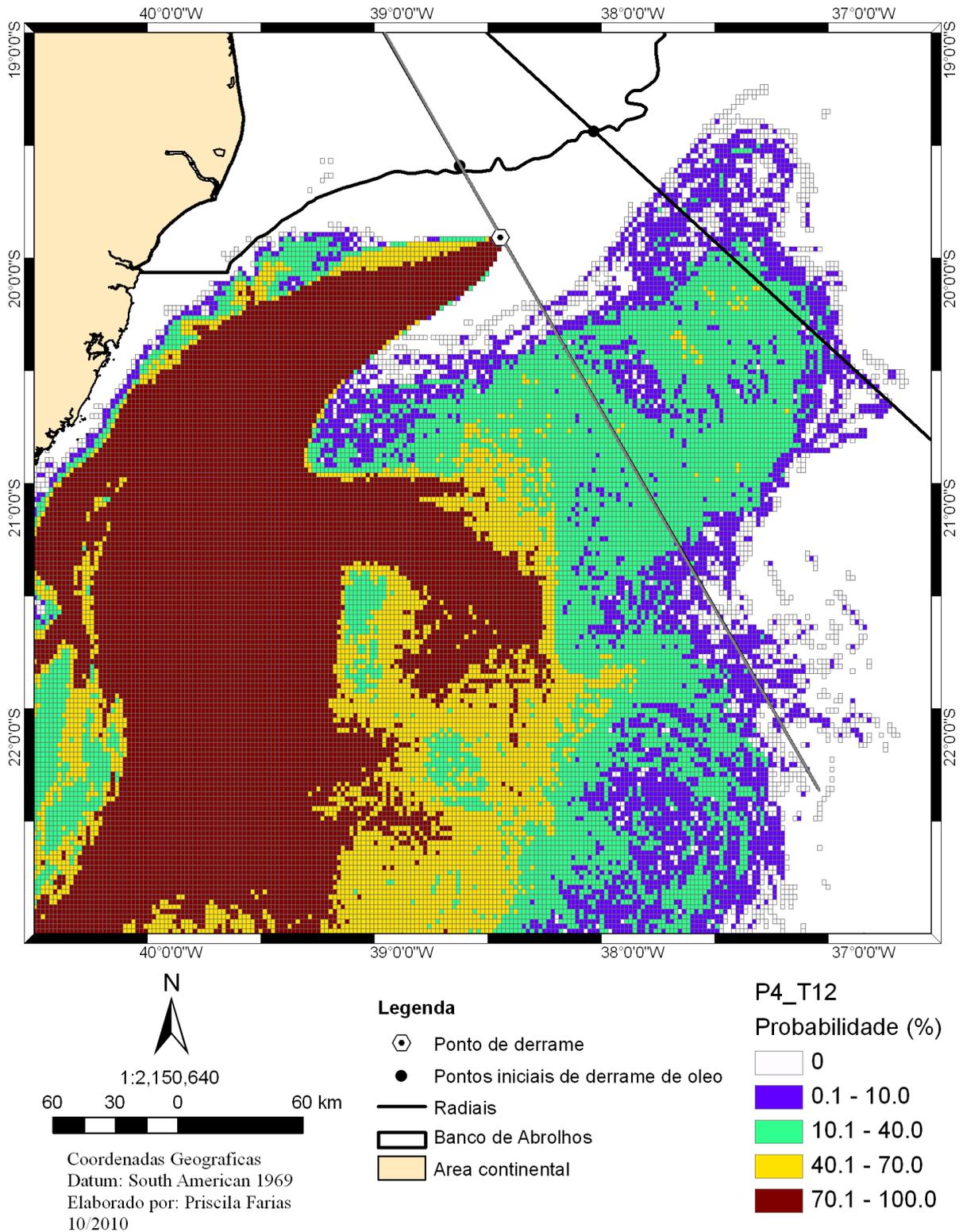


Figura 28 - Mapa contendo os resultados de 50 simulações probabilísticas de derrame de 192m³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. O ponto onde acontece o derrame localiza-se a 40 km do limite leste do banco sobre a Radial 3 e limita a faixa probabilística de 0 - 10%.

5.5 MAPA PROBABILÍSTICO FINAL

Após análise de todos os resultados apresentados anteriormente, os pontos finais de cada faixa probabilística foram plotados no mapa da região do banco de abrolhos. Os pontos probabilísticos referentes à mesma probabilidade máxima foram interligados para a determinação das áreas de maior risco ambiental nas condições simuladas. O mapa final contendo ao resultado dos setenta e um cenários probabilísticos simulados encontra-se na Figura 29.

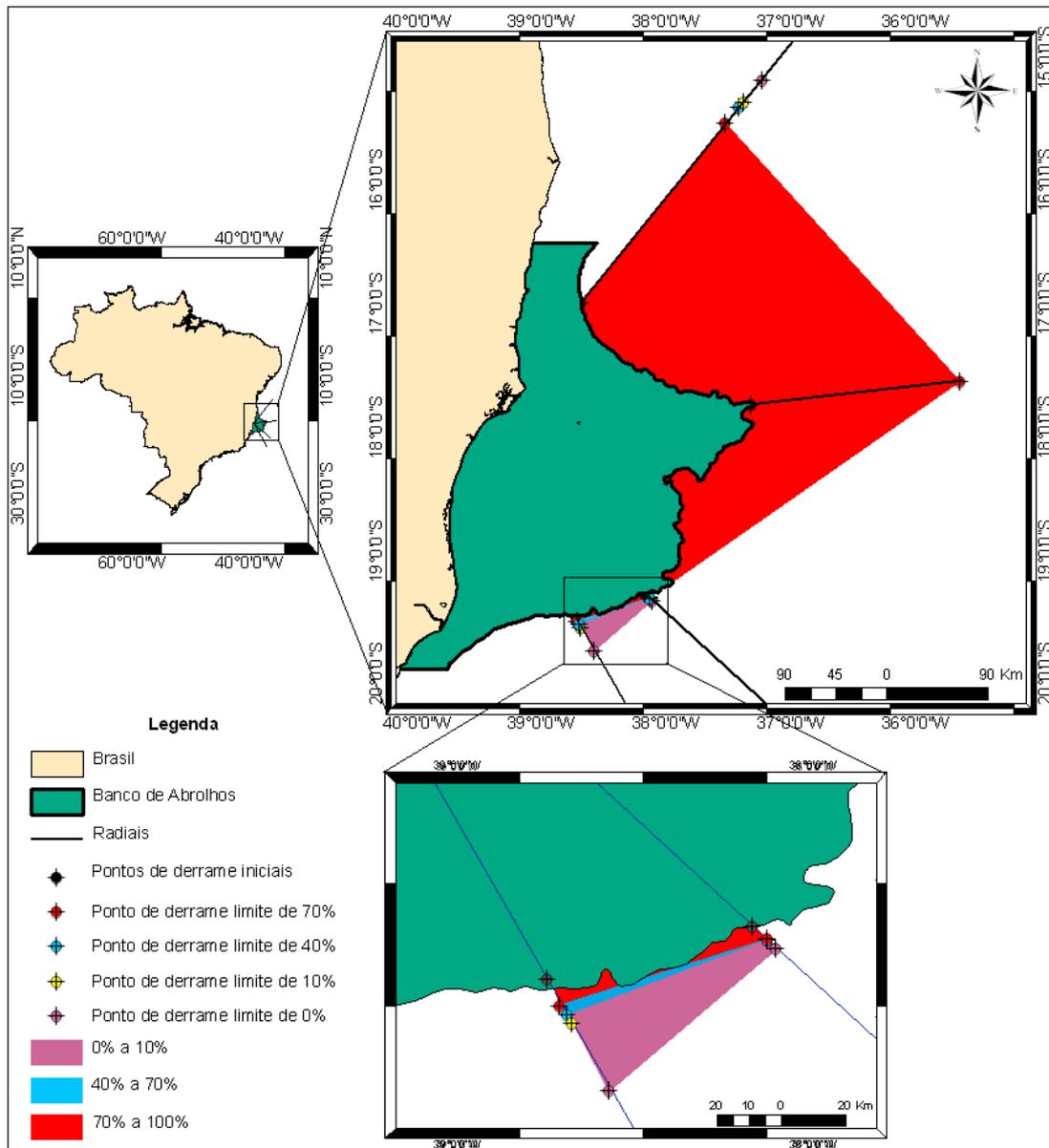


Figura 29 - Mapa contendo as faixas probabilísticas finais resultantes da análise de setenta e uma simulações probabilísticas de derrame de 192m³ de óleo tipo intermediário por dia durante 30 dias no período de verão. A faixa em vermelho representa a área onde a realização de atividades de E&P de petróleo no mar oferece maior risco de contaminação ao Banco de Abrolhos em caso de acidentes envolvendo derrames de óleo no mar.

6 DISCUSSÃO

O destino do óleo no mar após um derramamento é resultante das forças meteorológicas e oceanográficas que modificam o seu padrão de distribuição, além do intemperismo químico do óleo.

Uma análise qualitativa detalhada do padrão de distribuição espacial das manchas de óleo evidenciou que este padrão de distribuição se relacionou diretamente à hidrodinâmica da região. Isso pode ser observado quando se compara o padrão dispersivo do óleo no mapa da Figura 19, por exemplo, com a circulação superficial apresentada nos mapas da Figura 30. Observe que a Corrente do Brasil, demarcada por um fluxo contínuo para sul na quebra de plataforma, é evidenciada em ambas as figuras, além de suas feições associadas como é o caso do Vórtice de Ilhéus, presente entre 14°S e 16°S, nas Figuras 15 e 30-C.

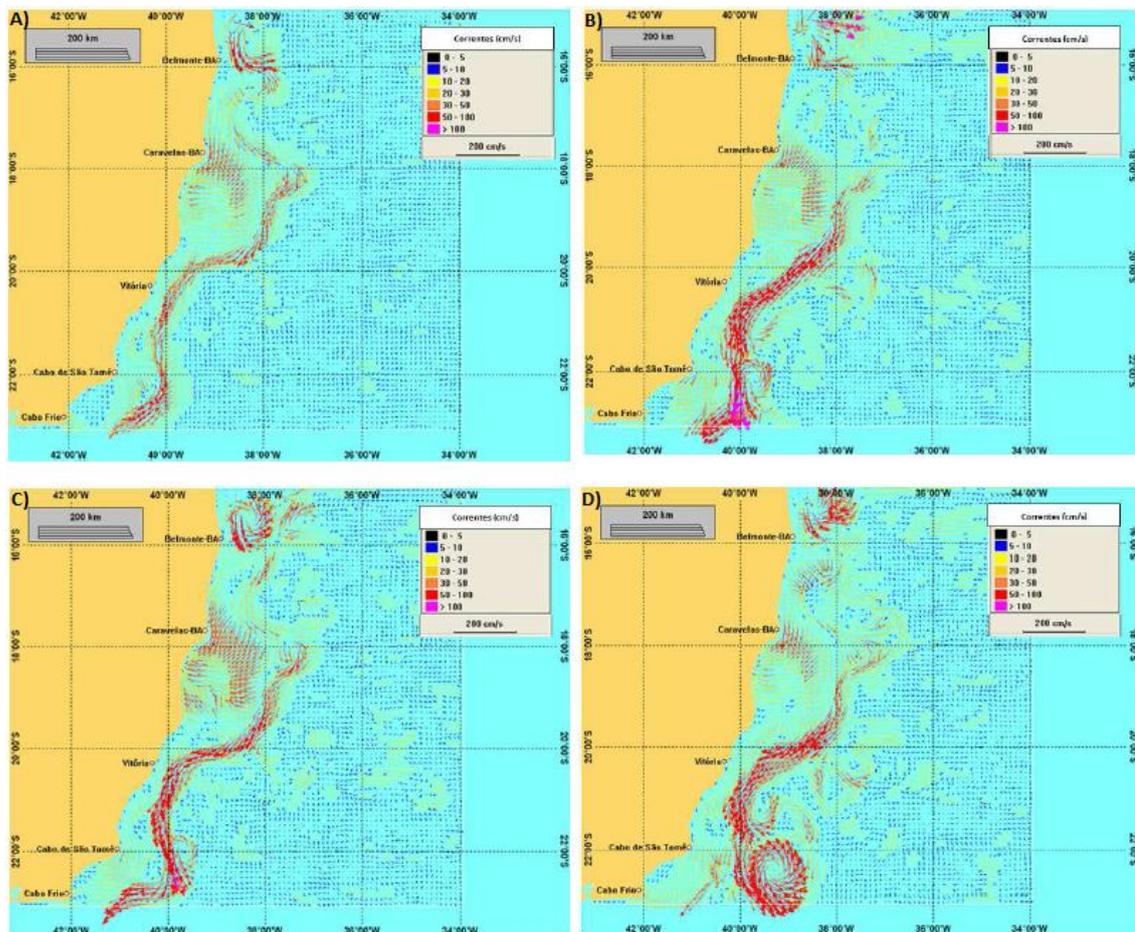


Figura 30 - Padrão de circulação superficial de verão nos dias 30/12/88 (A), 14/01/89 (C), 29/01/89 (B) e 13/02/89 (D). Fonte: Lemos (2009).

Outra forçante evidenciada no padrão de distribuição das manchas de óleo foi o vento, que no período de verão são preferencialmente de Nordeste (NE) e Leste (E) com velocidades médias de $4,25 \text{ m.s}^{-1}$, mas que podem alcançar até $13,40 \text{ m.s}^{-1}$. O padrão de circulação atmosférica superficial de verão ilustrado na Figura 31 apresenta a variação temporal e espacial da intensidade dos ventos na região.

Observe que a Figura 31-B apresenta ventos de NE mais fortes e direcionados para a região onde se localiza o Banco de Abrolhos (entre 16°S e 20°S). Estes ventos mais intensos também foram evidenciados na Figura 30, onde se observou maiores intensidades de correntes superficiais, provavelmente geradas pelo vento, adentrando a área do banco. Isso refletiu consideravelmente na dispersão do óleo quando este foi derramado no limite do banco, sobre a Radial 1 (Figura 12). Neste cenário, é provável que os ventos tenham sido determinantes para que houvesse chegada de óleo nas áreas de preservação ambiental e na costa, o que o torna uma forçante de grande relevância.

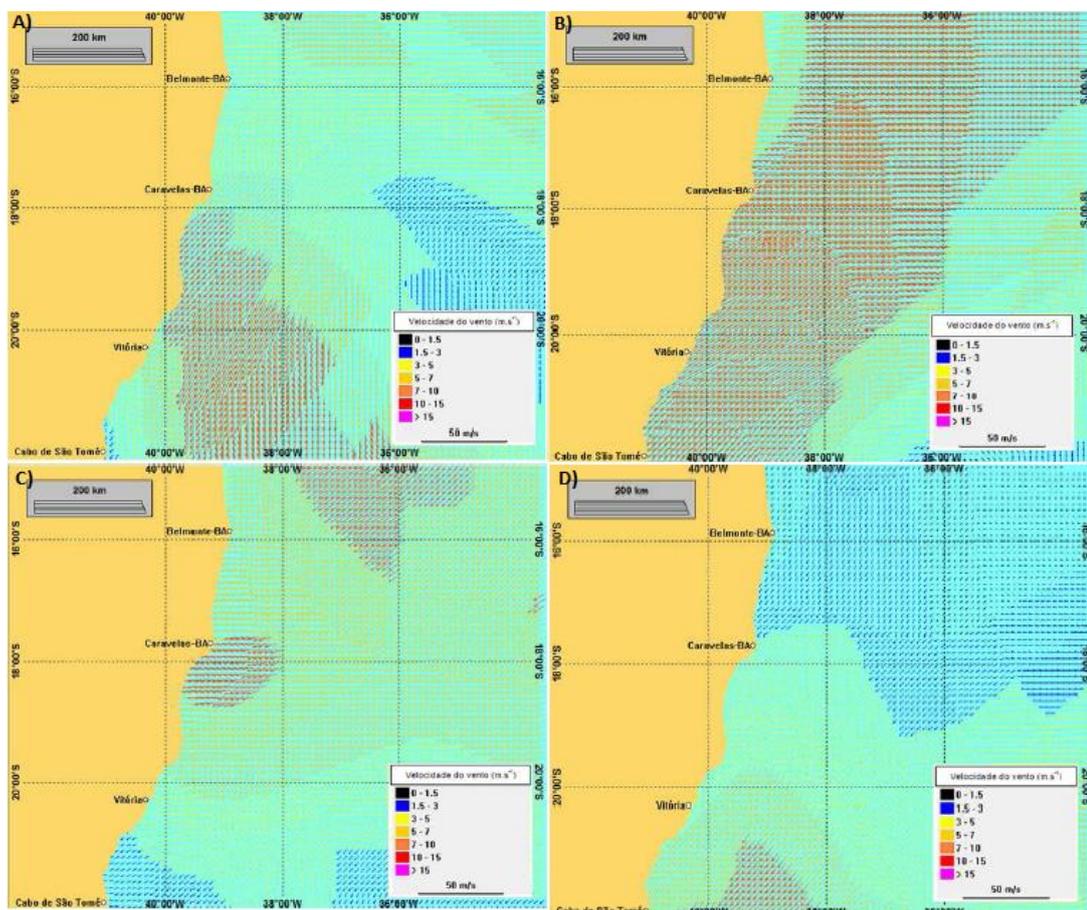


Figura 31- Padrão de circulação atmosférica superficial de verão nos dias 30/12/88 (A), 14/01/89 (C), 29/01/89 (B) e 13/02/89 (D). Fonte: Lemos (2009).

Os cenários probabilísticos simulados mostraram que existiu uma correlação direta entre a distância dos derrames de óleo no mar e a probabilidade do banco ser atingido pelo óleo. Quanto maior a distância do derramamento de óleo, menor foi o risco associado à contaminação do Banco de Abrolhos pelo óleo derramado. Esse resultado está relacionado ao comportamento da Corrente do Brasil (CB), que flui na quebra de plataforma e se direciona para sul. O fluxo forte dessa corrente funciona como um bloqueio à entrada de óleo nas regiões internas do banco, quando o óleo é derramado em longitudes maiores que 37°W. No entanto, a diminuição da probabilidade de o banco ser atingido com o aumento da distância do ponto de derrame não se mostrou uniforme em todos os cenários simulados. Nos cenários simulados sobre as Radiais 1 e 2, a variação das faixas probabilística ocorreram a distâncias muito maiores do que nos simulados sobre as Radiais 3 e 4. Esse comportamento possivelmente está associado ao confinamento da CB que apresenta maiores velocidades a partir da latitude de 18°S.

A CB está associada a uma intensa atividade de meso-escala, com presença de vórtices e meandramentos que podem promover instabilidades no direcionamento do óleo. A energia hidrodinâmica desses processos turbulentos de pequena escala temporal podem agir espalhando o óleo superficial, o que pode aumentar a criticidade dos derramamentos na região. Isso foi observado, por exemplo, nas latitudes superiores a 22°S, onde se localiza o Vórtice de São Tomé, que agiu sobre a mancha espalhando o óleo derramado, como mostrado nas Figuras 25 e 26.

A presença feições de meso-escala, como o Vórtice de Ilhéus, pelo contrário, ajudou a trapear o óleo derramado e dessa forma, impediu que o óleo atingisse o banco, como mostrado nas Figuras de 13 a 16.

Como já evidenciado por Lemos (2009), a maré também se mostrou um processo atuante na distribuição da mancha de óleo. Os resultados encontrados nos cenários simulados sobre a Radial 3, por exemplo, mostraram que houve chegada de óleo na região sudeste do banco. Provavelmente isso não teria acontecido caso o efeito da maré fosse desconsiderada, pois nessa região há o aumento na espessura da CB, observado somente quando a modelagem numérica considera os processos supra-inerciais de alta frequência.

Todas as análises feitas até agora tiveram, de modo geral, o objetivo de caracterizar as áreas de maior e menor sensibilidade à implantação de atividades de E&P de petróleo na região do entorno do Banco de Abrolhos. Essas análises permitiram concluir que, os cenários envolvendo derrames sobre as Radiais 1 e 2 apresentaram maior risco de contaminação ao banco em relação às Radiais 3 e 4. Isso é claramente evidenciado no mapa da Figura 29, que apresenta as faixas probabilísticas finais. A classificação quanto ao risco de contaminação oferecido pelos diferentes cenários, ao banco de Abrolhos, levou em consideração a área do banco ocupada pela mancha de máxima probabilidade, além da contaminação ou não do PARNAM de Abrolhos e da costa. Além de atingir uma área considerável da região sudeste do banco, os cenários simulados com derrames na Radial 2 foram consideradas de alto risco, também, devido aos resultados que mostraram que mesmo que o ponto de derrame fosse distanciado até a ZEE, a probabilidade de o banco ser atingido pelo óleo derramado ainda estaria entre 70 e 100%. As Radiais 3 e 4 compreendem regiões onde derrames de óleo ofereceram menor risco de contaminação do banco, não oferecendo em nenhum cenário, risco às áreas de preservação ambiental.

De modo geral, os resultados obtidos através dessa metodologia proporcionaram a elaboração de um mapa probabilístico final que indicou as áreas de maior e menor sensibilidade a derrames de óleo no mar na região de estudo. Este resultado poderá auxiliar órgãos ambientais na delimitação da ZE e ZA do PARNAM de Abrolhos, bem como na tomada de decisões quanto à alocação de blocos de P&E de petróleo na região do entorno do Banco de Abrolhos.

É importante salientar que a metodologia aqui apresentada objetivou a proteção do Banco de Abrolhos e fixou 4 radiais sobre o mesmo, por onde os derrames foram deslocados. Entretanto, esta metodologia pode ser aplicada a qualquer área que por algum motivo necessite ser preservada. Para isso, basta variar a posição, o comprimento e o número das radiais e convergi-las num ponto médio da área de estudo. O estabelecimento de quatro radiais foi satisfatório para a análise e aplicação da metodologia, no entanto, outros estudos devem ser realizados levando em consideração a determinação de mais radiais, menos espaçadas entre si, para que os processos advectivos do óleo no mar na região sejam mais bem entendidos em menores escalas. O sucesso da metodologia está diretamente ligado ao

posicionamento das radiais sobre a área de proteção. Se possível, estas devem ser dispostas em função de um estudo prévio a cerca dos padrões meteoceanográficos da região. No presente estudo, as radiais foram delimitadas de forma a abranger toda a área banco, no entanto, os resultados mostraram que a fixação de uma radial intermediária entre as Radiais 1 e 2, e outra entre 2 e 3, caracterizaria melhor os riscos probabilísticos da região associados à dinâmica do Vórtice de Royal Charlotte e do Vórtice de Abrolhos, ilustrados na Figura 32.

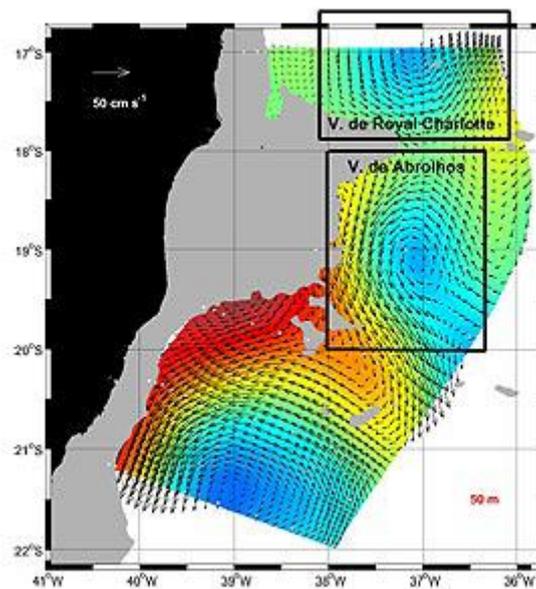


Figura 32 - Padrão de distribuição das correntes marinhas a 50 metros de profundidade, calculados a partir dos dados oceanográficos medidos durante o cruzeiro realizado em setembro de 2007. Fonte: Soares (2007).

7 CONCLUSÕES

Levando-se em consideração a área ocupada pela mancha de maior probabilidade de ocorrência de óleo e a sensibilidade das áreas de maior risco de contaminação, os cenários probabilísticos de pior caso são aqueles onde os derrames aconteceram sobre as Radiais 1 e 2. Esses resultados corroboram com outros trabalhos realizados na região, como Lemos (2009) e Machioro *et al* (2005), que também buscaram reconhecer os riscos potenciais da atividade de E&P de petróleo na região do Banco de Abrolhos e seu entorno.

Os principais processos meteoceanográficos que influenciaram no destino do óleo na região de estudo foram a Corrente do Brasil, o Vórtice de Ilhéus e o Vórtice de São Tomé. No entanto, é importante salientar que devido à limitação do modelo hidrodinâmico, outras feições importantes como o Vórtice de Abrolhos e o Vórtice de Vitória não foram evidenciados. Sendo assim, o comportamento espacial e temporal dessas feições hidrodinâmicas, bem como as características ambientais locais devem ser muito bem estudadas para que as previsões de modelos de simulação de dispersão de óleo no mar possam produzir resultados cada vez mais realísticos.

A metodologia proposta se mostrou eficaz por sua simplicidade de execução e permitir o estudo dos riscos probabilísticos de uma grande área, num curto espaço de tempo, sem grandes esforços computacionais e de custo relativamente baixo. Os resultados produzidos pelo modelo escolhido corroboraram com análises de outros estudos. Sendo assim, esta metodologia pode ser indicada para subsidiar órgãos ambientais na alocação de blocos exploratórios, bem como na elaboração de ZA's e ZE's, para que a integridade de ecossistemas marinhos e costeiros de grande importância biológica e/ou socioeconômica, como o Banco de Abrolhos, não seja ameaçada.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAMO, O.M.; REED, M.; DALLING, P.S. & JOHANSEN, ° 1993. **A Laboratory-Based Weathering Model: PC Version for Coupling to Transport Models.** Proceedings of the 1993 Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP) Technical Seminar pp.617-626.

AAMO, O.M.; REED, M.; LEWIS, A. **Regional Contingency Planning Using the OSCAR Oil Spill Contingency and Response Model.** SINTEF Applied Chemistry, Environmental Engineering, N-7034 Trondheim, Norway.

ALBINO, J. **Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das Praias de Bicanga a Povoação,** ES. Tese de doutorado – Programa de Pós-graduação e Geologia Sedimentar – Instituto de Geociências, USP. 1999.

ASA, (2000). **OILMAP User Manual – Version 4.0.** Applied Science Associates (ASA), Rhode Island, USA.

ASMUS, H. Banco de Abrolhos: **Tentativa de Interpretação Genética.** Rio de Janeiro, PETROBRÁS, DEXPRO. DIVER, 1970.

Banco de Dados de Exploração e Produção – BDEP. **Relatório de Produção de Petróleo de 2000 a 2009.** Disponível em: < <http://www.bdep.gov.br/>>. Acessado em: 13 de Novembro de 2010.

Banco de dados do Ministério do Meio Ambiente – MMA. Disponível em: < <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/aplicmap/geral.htm?7ca8ff399831c39dd33efa01dafa1942>>. Acessado em 13 de Novembro de 2010.

BOYER, P.R. **Structure of the Continental Margin of Brazil – Natal to Rio de Janeiro.** Tese Ph.D.University of Illinois, USA, 1969. 43p.

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

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Derrames de óleo no mar: aspectos corretivos e preventivos.** 2003.

COSTA, T.P. **Existe um Vórtice de Vitória Climatológico?**. Monografia de conclusão de curso – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo – IO/USP. 2007.

ELPN/IBAMA . **Informação técnica ELPN/IBAMA 024/02**. Rio de Janeiro. 2002.

FARIAS, P.M. **A modelagem computacional como ferramenta na prevenção e combate a derrames de óleo no mar – estudo de caso para região Centro-Sul da Bacia do Espírito Santo (Campo de Golfinho)**. Iniciação Científica – Universidade Federal do Espírito Santo. 2009.

FINGAS, M. **The basics of oil spill cleanup**. Ed. CRC Press LLC, 2^a ed.2001.

FLOCH, D.L.; GUYOMARCH, J.; NERLIN, F.; STOFFYN-EGLI, P.; DIXON, J.; LEE, K. **The influence of salinity on Oil-mineral aggredate formation**. Spill Science and Tecnology Bulletin. Nº.1.v.8, p. 65-71.2002.

FONSECA, S.A.R. **Análise de estratégias de contingência ao derramamento de óleo: estudo de caso do Campo de Golfinho, Espírito Santo – Brasil**. Monografia – Universidade Federal do Espírito Santo. 2009.

FRAGOSO, M.D.R. **Um modelo numérico da circulação oceânica para as bacias leste e sudeste do Brasil**. Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. 2004.

ITOPF – **International Tankers Owners Pollution Federation. Response marine oil spill. Whitherby & The International Tankers Owners Pollution Federation**. Londres, Reino Unido. p. 150. 1986.

KOPPEN, W. **Climatologia: com un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Económico, México. 1948.

LEÃO, Z.M.A.N. **Abrolhos: The South Atlantic largest coral reef complex**. Geological and Paleontological Sites of Brasil, 1999.

LEHR et al. **Revisions of the ADIOS oil spill model**. Environmental Modelling & Software, v.17, p. 191-19, 2002.

LEMOS, A.T. **Modelagem numérica da maré barotrópica na costa do Espírito Santo**. Monografia - Universidade Federal do Espírito Santo, 2009.

MARCHIORO, G.B.; NUNES, M.A.; DUTRA, G.F.; MOURA, R.L.; PEREIRA, P.G.P. **Avaliação dos impactos da exploração e produção de hidrocarbonetos no Banco dos Abrolhos e adjacências**. Megadiversidade de Abrolhos. Vol.1. N°2. 2005.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. **Committee on oil in the sea: inputs, fates and effects**. National Research Council. 2003.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, p.421. 1989.

PIMENTEL, F.P. **Análise de estratégias de resposta a derramamentos de óleo no Campo de Golfinho (ES – Brasil) utilizando o modelo OSCAR**. Monografia – Universidade Federal do Espírito Santo. 2007.

PIOVESAN, R.B. **Modelagem hidrodinâmica da Lagoa dos Patos, RS, aplicada à dispersão de óleo**. Dissertação de Mestrado -Fundação Universidade Federal do Rio Grande. 2006.

REED, M. **Technical description and verification tests of OSCAR2000, a multi-component 3-dimensional oil spill contingency and response model**. SINTEF Applied Chemistry. 2001.

REED, M.; AAMO, O. M.; DALING, P. S. **Quantitative Analysis of Alternate Oil Spill Response Strategies using OSCAR**. *Spill Science & Technology Bulletin*, Vol. 2, No. 1, pp. 67-74, 1995.

SCHMID, C.; SCHAFER, H.; PODESTÁ, G.; ZENK, W. **The Vitoria Eddy and Its Relation to the Brazil Current**. *Journal of Physical Oceanography*. v. 25, p. 2532-2546, 1995.

SILVA, G.H. **Percepção ambiental da indústria de petróleo no litoral brasileiro.** Tese de D.Sc., Universidade Federal de Dão Carlos, São Carlos, SP, Brasil. 1996.

SILVEIRA, I.C.A.D.; SCHMIDT, A.C.K.; CAMPOS, E.J.D.; GODOI, S.S.D.; IKEDA, Y.A **Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira.** Revista Brasileira de Oceanografia. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo - SP. v. 48, p. 171-183. 2000.SOARES, S. M., 2007: **Ondas instáveis no sistema de correntes de contorno oeste ao largo de Abrolhos.** Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 81 pp.

SOUTELINO, R.G. **A Origem da Corrente do Brasil.** Dissertação de Mestrado – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo – IO/USP, 2008.

STEELE et al. **Oil in the Sea: Inputs, Fates end Effects.** Washington, D.C.: National Academy Press. 1985.

TEIXEIRA, C.E.P.; LESSA, G.; CIRANO, M.; CAMPOS, E. **Análise da variabilidade das correntes sub-inerciais na zona costeira do Banco de Abrolhos usando ondeletas.** Anais do II Congresso Brasileiro de Oceanografia, Vitória. 2005.

TISSOT, B.P.; WELTE, D.H. **Petroleum formation and occurrence.** Second revised and enlarged adition. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, p.699. 1984.

US Navy 1978. **US Navy Marine Climatic Atlas of tha World**, Volume IV – South Atlantic Ocean, Washington, D.C., 325p.

VENOSA, A.D.; ZHU, X. **Biodegradation of crude oil contaminating marine shorelines and freshwater wetlands.** Spill Science and Tecnology Bulletin. N° 2.v.8, p. 163-178.2003.