



14 - ANEXOS



Anexo A

Termo de Referência CGPEG/DILIC/IBAMA Nº 018/08



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL
COORDENAÇÃO GERAL DE PETRÓLEO E GÁS
COORDENAÇÃO DE EXPLORAÇÃO

TERMO DE REFERÊNCIA

CGPEG/DILIC/IBAMA Nº018/08

**TERMO DE REFERÊNCIA PARA ELABORAÇÃO DO
ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL E RESPECTIVO
RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA A
ATIVIDADE DE PERFURAÇÃO MARÍTIMA NOS
BLOCOS BM-C-39, BM-C-40, BM-C-41, BM-C-42 E BM-C-43,
BACIA DE CAMPOS.**

Aprovado pela CGPEG em MAIO.2008



SUMÁRIO

I - DISPOSIÇÕES GERAIS

I.1 – OBJETIVO

I.2 – PROCEDIMENTOS DO LICENCIAMENTO

I.3 – ABORDAGEM METODOLÓGICA

I.3.1 – NORMAS TÉCNICAS PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS CARTOGRÁFICOS

I.4 – APRESENTAÇÃO DO EIA/RIMA

II - CRITÉRIOS PARA ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL

II.1 – IDENTIFICAÇÃO DA ATIVIDADE E DO EMPREENDEDOR

II.1.1 – DENOMINAÇÃO OFICIAL DA ATIVIDADE

II.1.2 – IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR

II.1.3 – IDENTIFICAÇÃO DA UNIDADE DE PERFURAÇÃO E DE TODAS AS EMBARCAÇÕES DE APOIO.

II.2 – CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE

II.2.1 – APRESENTAÇÃO

II.2.2 – HISTÓRICO

II.2.3 – JUSTIFICATIVAS

II.3 – DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

II.3.1-DESCRIÇÃO GERAL DO PROCESSO DE PERFURAÇÃO

II.3.2-CRITÉRIOS PARA APROVAÇÃO DE FLUIDOS PREVISTOS NA ATIVIDADE DE PERFURAÇÃO

II.4 - ÁREA DE INFLUÊNCIA DA ATIVIDADE

II.5 – DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

II.5.1 – MEIO FÍSICO

II.5.2 – MEIO BIÓTICO

II.5.3 – MEIO SOCIOECONÔMICO

II.5.4 – ANÁLISE INTEGRADA E SÍNTESE DA QUALIDADE AMBIENTAL

II.6 – IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS

II.6.1 – MODELAGEM DA DISPERSÃO DE ÓLEO E CASCALHO E FLUIDO DE PERFURAÇÃO

II.7 – ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS

II.8 – ANÁLISE E GERENCIAMENTO DE RISCO E PLANO DE EMERGÊNCIA INDIVIDUAL

II.8.1 – DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES

II.8.2 – ESTUDO DA POSSIBILIDADE DE OCORRÊNCIA DE ZONAS DE ALTA PRESSÃO

II.8.3 – ANÁLISE HISTÓRICA DE ACIDENTES AMBIENTAIS

II.8.4 – IDENTIFICAÇÃO DOS EVENTOS PERIGOSOS

II.8.5 – GERENCIAMENTO DE RISCOS AMBIENTAIS

II.9 – PLANO DE EMERGÊNCIA INDIVIDUAL

II.10– MEDIDAS MITIGADORAS E COMPENSATÓRIAS E PROJETOS/PLANOS DE CONTROLE E MONITORAMENTO

II.10.1 – PROJETO DE MONITORAMENTO AMBIENTAL

II.10.2 – PROJETO DE CONTROLE DA POLUIÇÃO

II.10.3 – PROJETO DE COMUNICAÇÃO SOCIAL

II.10.4 – PROJETO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL

II.10.5 – PROJETO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL DOS TRABALHADORES

II.10.6 – PROJETO DE MONITORAMENTO DO DESEMBARQUE PESQUEIRO



- II.11 – CONCLUSÃO
- II.12 – BIBLIOGRAFIA
- II.13 – GLOSSÁRIO
- II.14 – ANEXOS
- II.15 – EQUIPE TÉCNICA

III – CRITÉRIOS PARA ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL E REALIZAÇÃO DE AUDIÊNCIA PÚBLICA

III.1 – RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL

- III.1.1 – CONCLUSÃO
- III.1.2 – BIBLIOGRAFIA
- III.1.3 – GLOSSÁRIO
- III.1.4 – ANEXOS
- III.1.5 – EQUIPE TÉCNICA

III.2 – AUDIÊNCIA PÚBLICA

- III.2.1-ANEXOS



TERMO DE REFERÊNCIA CGPEG/DILIC/IBAMA Nº 018/08

TIPO DE ESTUDO A SER ELABORADO: Estudo de Impacto Ambiental-EIA, Relatório de Impacto Ambiental -RIMA e critérios para realização de Audiência Pública para a atividade de perfuração exploratória nos Blocos BM-C-39, BM-C-40, BM-C-41, BM-C-42 e BM-C-43, Bacia de Campos.

EMPREENDEDOR: OGX Petróleo e Gás Ltda

PROCESSO Nº: 02022.001143/08

DATA DE EMISSÃO DO TERMO DE REFERÊNCIA PELA CGPEG: 16.05.2008

I - DISPOSIÇÕES GERAIS

I.1- OBJETIVO

O presente Termo de Referência – TR tem, por objetivo, determinar a abrangência, os procedimentos e os critérios para a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental – EIA, do Relatório de Impacto Ambiental – RIMA e realização de Audiência Pública, instrumentos que subsidiarão o licenciamento ambiental para emissão da licença ambiental para a atividade de perfuração nos Blocos BM-C-39, BM-C-40, BM-C-41, BM-C-42 e BM-C-43, Bacia de Campos.

A empresa deverá delimitar uma área geográfica que deverá ser constituída pela área de todos os blocos na Bacia de Campos. O polígono de sua abrangência deverá ser proposto pela empresa.

I.2 - PROCEDIMENTOS DO LICENCIAMENTO

- A) O IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis procederá ao licenciamento ambiental da atividade, conforme a legislação vigente, e ouvidos os demais órgãos ambientais envolvidos no processo.
- B) O EIA/RIMA subsidiará a concessão da licença ambiental para atividade de perfuração nos Blocos BM-C-39, BM-C-40, BM-C-41, BM-C-42 e BM-C-43, Bacia de Campos. A licença ambiental será concedida após análise e aprovação do Estudo de Impacto Ambiental – EIA.
- C) Durante o período de análise do EIA/RIMA, o IBAMA promoverá a realização de audiências públicas.
- D) O processo de licenciamento ambiental e o EIA/RIMA deverão obedecer à legislação ambiental em vigor e a este Termo de Referência.

I.3 - ABORDAGEM METODOLÓGICA

- A) O EIA/RIMA deverá ser elaborado por meio de uma análise integrada, a partir de levantamentos realizados na área de influência da atividade;
- B) Todos os dados e informações utilizadas para a realização de cálculos e estimativas deverão ser claramente especificados e referenciados;



- C) Todos os mapas apresentados deverão ser georreferenciados, com coordenadas geográficas ou geográficas / UTM juntas, a cores e em escala compatível com o nível de detalhamento dos elementos mapeados e adequados para a área de influência;
- D) Todas as referências bibliográficas utilizadas deverão ser mencionadas no texto e relacionadas no capítulo próprio, segundo normas da ABNT.

1.3.1 - NORMAS TÉCNICAS PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS CARTOGRÁFICOS

As informações utilizadas na elaboração do EIA/RIMA (mapas, imagens, dados e tabelas) deverão ser disponibilizadas em arquivos digitais entregues em CD-ROM. As especificações técnicas para o encaminhamento destas informações são apresentadas a seguir:

- A) Formatação básica para mapas e imagens digitais
- O georreferenciamento dos arquivos raster e vetorial deverão fundamentar-se numa grade digital de coordenadas geodésicas referenciadas ao Datum SAD-69;
 - Os mapas vetoriais deverão ser entregues nos formatos: CAD (DGN, DWG e DXF), Shapefile (SHP), Coverage do ARC/INFO ou arquivos de exportação do tipo E00;
 - Os arquivos contendo dados raster (imagens georreferenciadas) deverão ser apresentados com extensão GEOTIFF, contendo a data da passagem no carimbo da carta-imagem;
 - No caso de utilização de arquivos CAD (DXF, DWG e DGN), o projeto estudado deverá conter os níveis de informação separados, de acordo com a natureza temática (linhas de costa, ilhas, batimetria, limites, unidades de conservação, etc.) e a sua abrangência espacial;
 - Os dados deverão ser armazenados e apresentados exclusivamente em coordenadas geográficas;
 - Os mapas poderão ser apresentados na projeção UTM, desde que a grade seja traçada em coordenadas métricas com indicação de, no mínimo, quatro pontos em coordenadas geográficas;
 - Os elementos devem ser representados fielmente, ou seja, não poderão ser deslocados para efeito da criação dos mapas;
 - A base cartográfica deverá obedecer aos padrões estabelecidos pelos órgãos de produção cartográfica nacional e também pelo IBAMA. Os dados gráficos digitais devem ser nítidos e apresentar escala compatível para sua análise;
 - Fazendo uso de polígonos no caso do ARC/INFO, este deverá ser utilizado o componente do tipo "label" como indicador;
 - Utilizando-se de dados DXF, cada polígono deverá ter um texto ancorado dentro do mesmo. Fazendo uso de outros softwares, cada polígono deverá possuir seu indicador;
 - Os atributos relacionados a cada elemento gráfico que não puderem ser identificados através de níveis de informação deverão ser armazenados em bancos de dados;
 - As interseções dos elementos existentes deverão ser representadas como tal e corretamente digitalizados;
 - Os dados deverão ser entregues preferencialmente no formato ARC/INFO. Serão considerados como formato ARC/INFO dados do tipo E00 (interchange file) ou no formato GENERATE;
 - Todos os polígonos deverão estar fechados e perfeitamente conectados, permitindo as identificações das topologias, evitando-se assim, falhas ou sobreposições que prejudiquem a continuidade dos elementos lineares e seus respectivos nós.
- B) Observações Complementares
- Todas as informações descritivas que puderem ser georreferenciadas e que, no trabalho em questão, estiverem relacionadas com alguma representação cartográfica, deverão ser entregues na forma de bancos de dados no formato Access ou DBF;
 - O dicionário de dados deverá trazer todas as informações necessárias para o correto entendimento dos dados armazenados;



- As tabelas, relacionamentos, fontes, etc. deverão fazer parte do documento geral de descrição dos dados digitais (metadados).
- C) Dados no formato RASTER
- Dados do tipo RASTER (imagens) deverão ser entregues georreferenciados, podendo-se utilizar os formatos LAN, IMG, GRID, BIL ou TIFF não compactado, devendo estar registrados e retificados. No caso de arquivos TIFF, deve-se incluir os parâmetros de georreferenciamento conforme o padrão ARCINFO;
 - Os arquivos apresentados em meio digital no formato SHP deverão possuir um arquivo contendo a View gerada e um Layout com Legenda e Carimbo;
 - O arquivo gerado deverá ser entregue com todas as extensões desligadas para que possa ser aberto e analisado;
 - Todos os arcos e polígonos devem ser constituídos por polilinhas, de modo que vários segmentos comportem-se como uma única entidade;
 - Na junção de duas feições conectadas, deverá existir apenas um nó. Os "nós" de fechamento dos polígonos não devem apresentar saliências, fora da realidade mapeada;
 - Em um mesmo nível de informação ou *layer*, não pode existir duplicação de arcos para representação da mesma feição;
 - A identificação dos acidentes e feições deverá estar correta, através de topônimos e/ou atributos;
 - Nos originais plotados em formato analógico, não poderá haver borrões ou manchas (entidades espúrias) nos originais;
 - Os arquivos magnéticos e os produtos analógicos devem apresentar, além de uma perfeita coerência, o nome do executor, a data da elaboração, data da Imagem, rota da Imagem, escala e fuso (localização da propriedade).

I.4 - APRESENTAÇÃO DO EIA/RIMA

- A) Deverá ser encaminhada ao IBAMA 01 (um) exemplar do Estudo de Impacto Ambiental e 1 (um) exemplar do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) em formato A4, encadernados preferencialmente em forma de fichário ou com lombada em espiral, impressão frente e verso (inclusive os anexos). Deverão ser encaminhadas 09 (nove) cópias em meio digital do Estudo de Impacto Ambiental no seguinte formato: textos, figuras e mapas em formato *pdf*. Após a aprovação do RIMA pela CGPEG/IBAMA, serão solicitados exemplares adicionais para serem distribuídos. Uma das cópias em meio digital deverá ser elaborada em baixa resolução, priorizando a performance para visualização e não para impressão, em um único arquivo (contendo capa, índice, texto, tabelas, mapas e figuras), com máximo de 12 Mb, para ser disponibilizado na Internet;
- B) Os mapas deverão ser acondicionados em embalagem plástica transparente e incorporados ao documento principal. Cuidados semelhantes devem ser tomados com a apresentação dos demais desenhos, croquis e ilustrações em geral;
- C) O EIA/RIMA deverá ser apresentado integralmente na língua portuguesa e seguir, rigorosamente, a itemização apresentada no item II - Critérios para Elaboração do Estudo de Impacto Ambiental, contido neste Termo de Referência;
- D) A apresentação do EIA deverá ser precedida de um índice que, além de relacionar os itens do estudo como um todo, de acordo com a itemização apresentada no item II, contenha índices específicos para figuras, tabelas e mapas integrantes do Estudo. O índice deverá trazer a numeração das páginas correspondentes a cada tema;



- E) As páginas deverão ser identificadas através da numeração do tipo X/Y, onde X é o número da página e Y, o número total de páginas da seção ou capítulo, que deverão ser identificados, devendo conter também o número da revisão do documento, sendo a primeira numerada como 00, e a data de sua emissão;
- F) Um exemplar do Estudo de Impacto Ambiental deverá conter a assinatura original de todos os membros da equipe técnica responsável por sua elaboração, indicando a parte do Estudo que esteve sob a responsabilidade direta de cada um, bem como deve apresentar a rubrica dos mesmos nas páginas da seção ou item sob sua responsabilidade direta. O coordenador da equipe deve rubricar todas as páginas desta mesma via do estudo.

II - CRITÉRIOS PARA ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL

O Estudo de Impacto Ambiental deverá atender aos seguintes critérios para a sua elaboração:

II.1 - IDENTIFICAÇÃO DA ATIVIDADE E DO EMPREENDEDOR

II.1.1 - Denominação Oficial da Atividade

II.1.2 - Identificação do Empreendedor

- Nome ou razão social;
- Número dos registros legais;
- Endereço completo;
- Telefone e fax;
- Representantes legais (nome, CPF, endereço, telefone, fax e e-mail);
- Pessoa de contato (nome, CPF, endereço, telefone, fax e e-mail);
- Número de registro no Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadoras dos Recursos Ambientais (anexar cópia).

II.1.3 - Identificação da Unidade de Perfuração e das embarcações de apoio.

- Nome(s) da(s) unidade(s) de perfuração e da(s) embarcação(ões) de apoio a ser(em) efetivamente utilizada(s) na execução da atividade;
- Números dos registros legais (incluindo cópia do Certificado Internacional de Prevenção de Poluição por Hidrocarbonetos, do Certificado Internacional de Prevenção de Poluição por Efluentes Sanitários, do Certificado de Equipamentos de Segurança e do Certificado de Conformidade após Vistoria da Marinha), que deverão ser apresentados antes da operação ou da vistoria.

II.2 – CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE

II.2.1 – Apresentação

Neste item deverão ser apresentados:

- a) Os objetivos da atividade que será desenvolvida;
- b) Cronograma preliminar da atividade, apresentando a previsão das diferentes etapas de sua execução;
- c) Limites, batimetria e localização da área do polígono e dos poços em mapa georreferenciado;
- d) Estimativa do número de poços a serem perfurados, apresentando o diagrama esquemático com a localização prevista (coordenadas geográficas), profundidade final estimada do poço e de cada fase, diâmetros e inclinação;



- e) Informar qual a contribuição da atividade objeto do EIA/RIMA para o setor industrial petrolífero.

II.2.2 – Histórico

Neste item deverão ser apresentados:

- A) Apresentar um histórico de todas as atividades petrolíferas realizadas anteriormente nos Blocos;
- B) Relato sumário do projeto, desde a sua concepção inicial, abordando o programa exploratório, incorporando a variável ambiental na fase de planejamento, incluindo: escolha da unidade de perfuração adequada, definição do projeto do poço, definição do tipo de fluido de perfuração e contratação de serviços de terceiros devidamente licenciados.

II.2.3 – Justificativas

Os aspectos técnicos do projeto objeto deste licenciamento deverão ser justificados segundo os aspectos econômicos, sociais e ambientais específicos da área.

Na apresentação das justificativas deverão ser incluídas as experiências adquiridas em outras áreas/atividades.

II.3 – DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

Descrever as atividades, apresentando em cada tópico, fluxogramas, croquis, mapas, tabelas e outras ilustrações que facilitem o entendimento dos textos.

Neste item deverão ser apresentados:

II.3.1- Descrição geral do processo de perfuração,

- A) Caracterização de todas as etapas do processo de perfuração;
- B) Descrição da(s) unidade(s) de perfuração e do(s) barco(s) de apoio a serem utilizadas(os), caracterizando os principais processos, equipamentos, instalações e capacidades operacionais. Devem ser apresentados fluxogramas dos processos, informando suas entradas e saídas;
- C) Descrição das operações complementares previstas (perfilagem, teste de formação, completção, tamponamento e abandono) e dos cuidados ambientais a serem tomados para a realização de cada operação;
- D) Descrição dos procedimentos previstos de serem adotados, no caso da descoberta de hidrocarbonetos em escala comercial;
- E) Deverão ser apresentados os procedimentos a serem adotados para a desativação da atividade, incluindo a instalação de equipamentos e/ou tampões para o abandono temporário ou definitivo dos poços perfurados, a desmobilização da unidade de perfuração utilizada, em especial no que se refere aos cuidados ambientais a serem observados e de acordo com IN nº 25/2002 da ANP;
- F) Descrição dos sistemas de segurança e de proteção ambiental que equipam a(s) unidade(s) de perfuração, que estarão em funcionamento durante as atividades de perfuração e operações complementares. Deverão ser descritos:



- Sistema de posicionamento dinâmico e/ou ancoragem;
 - Sistemas de detecção de vazamentos (gás, óleo, diesel, etc.) e os dispositivos para contenção e bloqueio dos mesmos;
 - Sistema de geração de energia de emergência, destacando os subsistemas atendidos;
 - Sistema de controle de poço (BOP);
 - Sistema de coleta, tratamento e descarte de fluidos (esgotos, águas e resíduos de cozinha, drenagem de conveses e águas oleosas, e o sistema de coleta e destinação de óleos sujos). Deverá ser descrito o sistema de drenagem das áreas de serviço de todos os conveses (áreas sujas) da unidade de perfuração e das embarcações de apoio à atividade, bem como o separador água/óleo e respectivo sensor e alarme (a ser acionado caso exceda o limite de 15 ppm de óleos e graxas);
- G) Identificação e descrição sucinta da infra-estrutura de apoio a ser utilizada, caracterizando o terminal portuário de apoio marítimo, onde se darão as operações de abastecimento e desembarque de resíduos, e o terminal de apoio aéreo a ser utilizado para o embarque de trabalhadores. Deverão ser apresentadas as licenças ambientais de ambos os terminais (LO), emitidas pelo órgão ambiental competente;
- H) Descrição sucinta da operação do(s) barco(s) de apoio.

II.3.2 - Critérios Para Aprovação De Fluidos Previstos Na Atividade De Perfuração

- A) Estimativa dos volumes de fluidos de perfuração que serão utilizados e de cascalho a ser gerado por fase, indicando a classificação quanto à sua base (aquosa ou não aquosa). Solicita-se que as informações sejam apresentadas conforme o Anexo I. Uma cópia do anexo deve ser disponibilizada em planilha EXCEL na cópia digital encaminhada ao IBAMA, permitindo o uso interno pela CGPEG;
- B) Para cada tipo de fluido de perfuração, o empreendedor deverá informar suas propriedades físico-químicas (densidade, salinidade e pH) e sua formulação, discriminando as concentrações de cada produto que o compõe, em unidades do Sistema Internacional de Medidas, bem como suas respectivas funções. Solicita-se que as informações sejam apresentadas conforme o Anexo II. Uma cópia do anexo deve ser disponibilizada em planilha EXCEL na cópia digital encaminhada ao IBAMA, permitindo o uso interno pela CGPEG;
- C) Requisita-se também que sejam apresentadas as Fichas de Informação e Segurança (MSDS – *Material Safety Data Sheet*) de cada um dos componentes dos fluidos de perfuração e de outros produtos a serem utilizados (exemplo, produtos de contingência e pasta de cimento);
- D) Deverá ser realizada análise prévia da baritina empregada na composição dos fluidos de perfuração quanto aos teores de Cd e Hg. Os laudos de análise do laboratório responsável deverão conter o método utilizado e a sensibilidade da análise, cabendo ao empreendedor comprovar, por meio de documentação, que a amostra analisada foi coletada do lote a ser utilizado na atividade. Somente poderá ser utilizada no fluido de perfuração a baritina que contiver concentrações de Cd e Hg menores ou iguais a 3 e 1 ppm, respectivamente;
- E) A caracterização da toxicidade aguda e crônica de cada uma das formulações de fluidos de perfuração, em testes com os organismos marinhos *Mysidopsis juniae* e *Lytechinus variegatus*, respectivamente. Os resultados deverão ser apresentados em laudos assinados pelo responsável técnico, informando as diferentes diluições das frações de particulados suspensos (FPS) testadas e os valores de CL₅₀ (concentração letal para 50% dos organismos), CENO (concentração de efeito não observado), CEO (concentração de efeito observado) e VC (valor crônico), expressos em ppm (partes por milhão) da FPS. Solicita-se também que as informações sejam apresentadas conforme o Anexo II;



- F) Para os fluidos de base não aquosa, deverão ser apresentados os resultados dos testes de avaliação da biodegradabilidade, tanto da composição completa, como da base orgânica, utilizando a metodologia OECD306. Resultados obtidos por meio de outras metodologias poderão ser aceitos de forma complementar, desde que acompanhados de uma discussão técnica comparativa. Também deverão ser apresentados laudos sobre o teor de hidrocarbonetos poliaromáticos (total de HPA), expressos em percentagem da(s) base(s) e sobre o potencial de bioacumulação ($\log P_{ow}$);
- G) Para os fluidos de completação, colchão lavador, colchão espaçador e *packer* fluido, devem ser discriminadas as concentrações de cada produto que os compõem, em unidades do Sistema Internacional de Medidas, bem como suas respectivas funções e FISPQ. Também deve ser apresentada a caracterização da toxicidade aguda e crônica de cada uma das formulações;
- H) Deverá ser apresentada a descrição detalhada das formas de tratamento, incluindo fluxograma do processo e do destino que será dado aos fluidos de perfuração e cascalhos.

II.4- ÁREA DE INFLUÊNCIA DA ATIVIDADE

- A) Deverão ser estabelecidas as áreas de influência direta e indireta da atividade;
- B) Deverão ser apresentados e justificados os limites da área geográfica a ser, direta e indiretamente, afetada pelos impactos do empreendimento, denominada área de influência da atividade;
- C) Deverá ser apresentado um mapa da área de influência devidamente identificado e delimitado, em escalas compatíveis com o nível de detalhamento dos fatores ambientais;

A Área de Influência compreenderá:

- Área de Influência Direta - Área sujeita aos impactos diretos do desenvolvimento da atividade, como por exemplo, o município onde está localizada a base de apoio, rota das embarcações, área de exclusão. A delimitação desta área é baseada nas características físicas, biológicas e socioeconômicas da região, considerando os fluxos de correntes, oscilações de maré e ação de ondas e ventos que integram os diversos ecossistemas, que estejam diretamente relacionados.
- Área de Influência Indireta - Delimitada a partir da descarga de pior caso, definida pela Resolução CONAMA 293/01 como o **volume de óleo derramado por 30 dias sem contingência**. Esta é a área potencialmente ameaçada pelos impactos indiretos do desenvolvimento da atividade, abrangendo os ecossistemas e os meios físico e socioeconômico, que poderão vir a ser impactados por possíveis acidentes na atividade.

II.5 - DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

- A) O diagnóstico ambiental deverá retratar a qualidade ambiental atual da área de abrangência dos estudos, indicando as principais características dos diversos fatores que compõem o sistema ambiental, de forma a permitir o entendimento da dinâmica e das interações existentes entre os meios físico, biótico e socioeconômico da área de influência direta e indiretamente afetada pela atividade;
- B) O diagnóstico ambiental terá, como objetivo, fornecer conhecimentos capazes de subsidiar a identificação e a avaliação dos impactos decorrentes da atividade, bem como a qualidade ambiental futura da área;
- C) Deverão ser identificados e apresentados os planos e programas governamentais propostos e em desenvolvimento na área de influência da atividade;



- D) Deverá ser identificada e apresentada, com comentários à luz dos artigos pertinentes, a legislação ambiental aplicável à atividade alvo deste licenciamento e à área onde esta será desenvolvida;
- E) Deverão ser utilizados dados primários para a caracterização dos meios biótico, socioeconômico e oceanografia, utilizando dados secundários apenas para complementação e análise;
- F) Os diagnósticos dos diversos meios deverão ser ilustrados com tabelas, gráficos, diagramas, croquis e mapas, fluxogramas ou qualquer outra forma que facilite, primeiramente sua análise em separado e sua análise integrada.

II.5.1 - Meio Físico

II.5.1.1 – Meteorologia

- A) A caracterização meteorológica deverá abordar, considerando as variações sazonais, os parâmetros de temperatura, precipitação, evaporação, umidade relativa, pressão atmosférica e regime de ventos (direção e velocidade), na área de influência;
- B) O EIA deverá ser baseado em dados disponíveis, obtidos em estações meteorológicas e em bibliografia especializada, sendo discutidas e interpretadas suas variações, através de gráficos e tabelas.

II.5.1.2- Geologia e Geomorfologia

- A) O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) deverá conter uma caracterização geológico-geomorfológica da Bacia (características regionais, de forma sintética), do Bloco (características locais, com detalhes), onde serão desenvolvidas as atividades, dando ênfase à descrição:
- Do arcabouço estrutural (principais dobras, falhas e fraturas), em âmbito regional e local;
 - Da coluna estratigráfica formal da Bacia, com a identificação das litologias e das formações a serem perfuradas;
 - Das principais unidades fisiográficas existentes, em âmbito regional e local;
 - Da faciologia dos sedimentos de fundo oceânico: apresentar a geometria em subsuperfície dos corpos sedimentares não litificados, tanto por meio de seções geológicas, quanto por explicações no texto. Estas informações devem ser relacionadas com as características geotécnicas dos sedimentos e sedimentitos do bloco;
 - Condições de estabilidade e resistência do piso marinho (caracterização geotécnica). A metodologia usada para a obtenção das informações pertinentes à caracterização geotécnica deve ser fornecida.
- B) Apresentar mapa batimétrico/faciológico do Bloco (regional e local), georreferenciado, em escala compatível com as feições geomorfológicas ilustradas, além de seções geológicas esquemáticas pertinentes (locais).
- C) Caracterizar, sucintamente, as formações a serem perfuradas, identificando a possibilidade de existência de zonas com pressão anormalmente alta, que representem riscos à perfuração.

II.5.1.3 – Oceanografia

Deverá ser apresentada uma caracterização dos parâmetros oceanográficos da área de influência, levando-se em conta variações sazonais, juntamente com uma avaliação e consolidação dos dados obtidos, devendo ser abordados os seguintes parâmetros:



- Temperatura, salinidade e densidade da água do mar (diagrama TS – dado primário ou bibliográfico);
- Distribuição vertical e horizontal das massas d'água;
- Regime de correntes (direção e intensidade – perfil horizontal e vertical), devendo ser apresentado um mapa georreferenciado, em escala adequada, indicando o padrão sazonal de circulação das correntes na área de influência;
- Regime de ondas (direção, período e altura significativa);
- Mapa de refração de ondas para atividades realizadas próximo à costa;
- Regime de marés (altura e fase das principais constantes harmônicas), sendo que para atividades realizadas próximas à costa deverá haver a caracterização das marés de sizígia e quadratura e das correntes de marés;
- Caracterização das condições extremas (tempestades) do regime hidrodinâmico (ventos, ondas e correntes).

II.5.1.4 – Qualidade de água e sedimento

A) Deverá ser realizada a caracterização da qualidade da água, para as massas d'água identificadas na área de influência, com a apresentação, consolidação e avaliação dos dados obtidos, considerando-se no mínimo os seguintes parâmetros:

- Transparência;
- pH;
- Sólidos totais, dissolvidos e em suspensão;
- Oxigênio dissolvido;
- Carbono orgânico total (TOC);
- Hidrocarbonetos totais de petróleo;
- HPA (hidrocarbonetos poliaromáticos);
- n-alcanos e MCNR;
- Fenóis;
- BTEX;
- Produtividade primária (clorofila a);
- Nutrientes (Amônia, Nitrato, Nitrito, Fosfato);
- Silicato;
- Razão C:N:P;
- Sulfetos.

B) Deverá ser caracterizada a qualidade do sedimento marinho na área de influência com apresentação, consolidação e avaliação dos dados obtidos, considerando-se no mínimo, os seguintes parâmetros:

- Granulometria;
- Teor de carbonatos;
- Teor de matéria orgânica total;
- Sulfetos;
- Hidrocarbonetos totais de petróleo;
- HPA (hidrocarbonetos poliaromáticos);
- n-alcanos e MCNR;
- Metais (Al, Fe, Ba, Pb, Cr, Cu, Zn, Ni, Cd, Hg, V);
- Nutrientes (Amônia, Nitrato, Nitrito, Fosfato);
- Razão C:N:P.



- C) Deverão ser apresentados os procedimentos de amostragem, preparo e análises de amostras, bem como métodos estatísticos utilizados para análise dos resultados obtidos;
- D) As estações utilizadas na obtenção de dados deverão ser plotadas, em base cartográfica georreferenciada;
- E) Dados estatísticos destes parâmetros, abordando variações sazonais, deverão ser apresentados sob a forma de tabelas, diagramas e gráficos.

II.5.2 - Meio Biótico

- A) Identificar as unidades de conservação existentes na área de influência da atividade, descrevendo: sua localização, objetivos de criação, histórico, usos permitidos, de acordo com a categoria correspondente (disposto na Lei 9.985/00) e com o Plano de Manejo, existência de conselho de gestão e a influência do empreendimento sobre estas unidades. Deverá ser apresentado um mapa, em escala adequada, onde estejam claramente representados os limites das unidades de conservação, suas respectivas *áreas de entorno* (Resolução CONAMA 13/90), *zonas de amortecimento* e *corredores ecológicos* (quando já definidas em Plano de Manejo ou instrumento legal específico);
- B) Apresentar uma descrição geral dos principais ecossistemas litorâneos e neríticos da área de influência, tais como praias arenosas, costões rochosos, estuários, restingas, manguezais, bem como apresentar um mapeamento das áreas de ocorrência de corais, bancos de moluscos, de algas e macrófitas aquáticas. A caracterização deverá incluir a classificação das áreas quanto à sensibilidade e suscetibilidade destes ecossistemas aos impactos reais e potenciais da atividade;
- C) Inventariar a biota presente nos sistemas litorâneo e oceânico, sob a influência da atividade, considerando-se os aspectos espaciais e temporais;
- D) Caracterizar as estruturas das comunidades planctônicas (fitoplâncton, zooplâncton e ictioplâncton), bentônicas (fitobentos e zoobentos) e nectônicas da área de influência da atividade, considerando-se os aspectos espaciais e temporais;
- E) Identificar os períodos de desova/reprodução e os locais de concentração e desova dos recursos pesqueiros;
- F) Identificar os locais de concentração, áreas e períodos de desova e alimentação de quelônios;
- G) Identificar e mapear as rotas de migração de quelônios;
- H) Identificar e mapear as rotas e épocas de migração e reprodução de cetáceos, bem como as áreas de concentração dos mesmos;
- I) Identificar a ocorrência de espécies raras, endêmicas, ameaçadas de extinção, indicadoras da qualidade ambiental, de importância na cadeia alimentar e de interesse econômico e científico existentes (portarias do IBAMA nº 1522/89, 45/92 e 62/97, 37-N /92 e IN IBAMA nº 03/03, IN MMA nº 05/04, lista IUCN (2007), lista CITES – anexos I e II).

II.5.3 - Meio Socioeconômico

O diagnóstico do Meio Socioeconômico para os assentamentos humanos localizados na área de influência do empreendimento deverá constar da descrição dos seguintes aspectos, a saber:



- A) *Uso e ocupação do solo*: apresentar breve discussão sobre o uso e ocupação do solo, abordando as políticas públicas relacionadas a este tópico e seus respectivos instrumentos legais regulamentadores, com especial enfoque para as áreas terrestres onde ocorrerão impactos diretos decorrentes das atividades do empreendimento;
- B) *Grupos de interesse*: descrever todas as partes interessadas, caracterizando-as em grupos de interesse compostos de atores sociais com características comuns, passíveis de interação direta ou indireta com o empreendimento. A caracterização destes grupos de interesse deverá possibilitar uma clara distinção entre os mesmos, enfocando, dentre outros aspectos, os grupos de atores sociais utilizadores do espaço marinho requerido pelo empreendimento, autarquias públicas da administração direta atuantes na área de influência do empreendimento, especialmente aquelas integrantes do Sistema Nacional de Meio Ambiente – SISNAMA, e terceiro setor. Os grupos de interesse poderão ser divididos em:
- Instituições governamentais;
 - Setor empresarial;
 - Organizações da sociedade civil; e,
 - Outros interessados.
- Sub-divisões em cada grupo de interesse ou proposições de novos grupos de interesse poderão ser apresentadas, desde que acompanhadas de argumentos que as justifiquem;
- C) *Organização social*: descrever aspectos da organização social, identificando grupos cooperativos, movimentos, organizações não governamentais - ONGs, organizações da sociedade civil de interesse público - OSCIPs e as associações comunitárias, e as suas respectivas linhas de atuação;
- D) *Dinâmica populacional*: apresentar informações sobre a demografia, distribuição e mapeamento da população, bem como a localização dos principais assentamentos humanos. Dados referentes ao último Censo Demográfico do IBGE, além de outras fontes de dados demográficos ou de outras informações socioeconômicas relevantes ao contexto do estudo poderão ser apresentados, desde que acompanhados das respectivas fontes, as quais deverão ser inseridas no corpo do texto como citações científicas, e constar como referências bibliográficas;
- E) *Fluxos migratórios atuais*: identificar os fluxos migratórios atuais no âmbito regional, indicando a origem, destino e causas da migração;
- F) *Infra-estrutura*: descrever a infra-estrutura pública e privada referente aos sistemas de saúde, transporte, comunicações, energia elétrica, captação e abastecimento de água potável, segurança pública, meio ambiente e saneamento;
- G) *Estrutura produtiva*: Apresentar a participação no PIB regional: (i) dos setores primário, secundário e terciário; (ii) das principais atividades da região; e (iii) das atividades relacionadas direta ou indiretamente com a atividade. Apresentar a arrecadação tributária atual, os índices de desemprego e estimativa da geração de empregos diretos e indiretos, especificando o tipo de emprego a ser criado, escolaridade e qualificação exigida;
- H) *Educação*: caracterizar o sistema de ensino público e privado (recursos físicos e humanos), incluindo o índice de alfabetização, cursos profissionalizantes oferecidos, iniciativas de educação ambiental e porcentagem da população abrangida por estas iniciativas;



- I) *Lazer, turismo e cultura*: descrição das atividades turísticas desenvolvidas na região, os planos ou programas governamentais para os temas turismo e cultura, áreas mais utilizadas para o turismo (náutico, marítimo e ecoturismo) e principais potencialidades relacionadas a incrementos nas áreas já utilizadas e utilização de novas áreas, períodos de alta temporada e manifestações culturais relacionadas ao meio ambiente;
- J) *Controle e fiscalização ambiental*: descrever as instituições governamentais encarregadas do controle e fiscalização ambiental (esfera federal, estadual e municipal) na área de influência do empreendimento, mencionando a existência de acordos, convênios, e outras formas de cooperação inter-institucional. Para cada instituição, deverão ser identificadas as instâncias mais próximas de atuação, representadas pelos escritórios e delegacias regionais ou locais destas instituições, secretarias municipais de meio ambiente, unidades de conservação e postos de fiscalização;
- K) *Instrumentos de gestão ambiental*: descrever os instrumentos de gestão ambiental nas esferas federal, estadual e municipal, que possuam interface com o meio ambiente da área de influência do empreendimento, especialmente *planos de manejo de unidades de conservação, zoneamento ecológico-econômico e planos diretores municipais*. Estes instrumentos de gestão ambiental deverão ser comentados quanto ao seu grau de implementação e sua interface com as atividades propostas;
- L) *Principais recursos naturais utilizados e sua importância no contexto socioeconômico*: descrever os recursos naturais utilizados, identificando e caracterizando seus usuários, suas formas de utilização, aspectos legais relacionados e incentivos governamentais às atividades, *status* de conservação e tendências futuras para o uso destes recursos, para o prazo de duração do empreendimento;
- M) *Qualidade da paisagem natural*: Caracterizar a qualidade da paisagem natural e sua importância para o desenvolvimento local, regional e nacional, com enfoque especial para a área de influência direta e para os principais atrativos turísticos, utilizando-se de conceitos de ecologia da paisagem (*landscape ecology*);
- N) *Caracterização da atividade pesqueira*: (a) Detalhamento em função do tipo de pesca, das espécies capturadas, caracterização física das embarcações, métodos de conservação de pescado a bordo, dos petrechos utilizados na captura, do número aproximado de pescadores e embarcações e as atividades relacionadas à pesca que são desenvolvidas por mulheres (por exemplo, mariscagem, processamento do pescado e comercialização). A caracterização da atividade pesqueira deverá ocorrer por comunidade. (b) Áreas e períodos críticos de pesca (defeso e safras) por espécies existentes na área de influência com informações a serem espacializadas em mapa. A caracterização da atividade pesqueira deve constar de todas as informações necessárias à determinação de áreas de exclusão ou impedimento para a pesca que são diretamente decorrentes das atividades inerentes ao empreendimento em questão; (c) Apresentação de dados quantitativos e qualitativos em função do sistema de comercialização e processamento do pescado – incluindo dados sobre exportações e importações de insumos –, a produção pesqueira, a participação na produção econômica e arrecadação tributária com referências sazonais e no âmbito dos diferentes espaços geográficos (análise por comunidade, participação local e/ou regional e, quando for de relevância estratégica, a participação no cenário nacional e/ou internacional) em função das espécies comercializadas e das modalidades de pesca (pesca de subsistência, artesanal, empresarial e industrial¹); (d) Principais locais de desembarque por frota, descrição dos regimes de comercialização e dos métodos de beneficiamento; (e) Apresentar mapas contendo as principais áreas de pesca de acordo com as artes de pesca e os principais recursos capturados, linhas batimétricas, comunidades pesqueiras e suas respectivas

¹ A definição dos tipos de pesca pode ser encontrada no documento GEO BRASIL (2002) – *Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil*. Brasília. Edições IBAMA, 447 p.



representações; (f) As informações apresentadas poderão ser obtidas a partir de bases secundárias junto aos órgãos oficiais, colônias de pescadores ou mesmo através de pesquisas diretas;

- O) *Identificação e caracterização de etnias indígenas e de populações extrativistas:* A presença de etnias indígenas (inseridas ou não em terras indígenas) e de populações extrativistas (inseridas ou não no contexto de reservas extrativistas ou unidades de conservação afins) deverá ser identificada e caracterizada, considerando-se os instrumentos legais de proteção a estas populações. A localização de seus assentamentos, terras indígenas ou unidades de conservação que os abriguem deverão constar no mapa de sensibilidade ambiental;
- P) *Identificação e caracterização de tombamentos:* Os *Sítios do Patrimônio Histórico e Cultural* e *Sítios do Patrimônio Mundial Natural*, e as *Reservas da Biosfera*, todos estes títulos instituídos pela UNESCO, deverão ser identificados e caracterizados quanto a sua importância e vulnerabilidade aos impactos da atividade, juntamente com os tombamentos sob responsabilidade do IPHAN e áreas submetidas pelo Governo Federal à apreciação da UNESCO como pleito para estes títulos.

II.5.4 - Análise Integrada e Síntese Da Qualidade Ambiental

- A) Após os diagnósticos dos meios físico, biológico e socioeconômico, elaborar uma síntese da qualidade ambiental, que caracterize as interações e relações existentes entre os diferentes ecossistemas e entre os ecossistemas e as atividades sócio-econômicas da área;
- B) Apresentar uma síntese das condições socioambientais atuais e os cenários futuros de evolução socioeconômica para as hipóteses de presença ou não da atividade;
- C) Deverão ser apresentadas duas tabelas de sobreposição: uma contendo os períodos críticos para os recursos biológicos (períodos de desova, reprodução, etc.), e outra contendo os períodos críticos para a atividade pesqueira (defeso e safras) e para o turismo (alta e baixa temporada). A empresa deverá, a partir da sobreposição destes períodos, definir qual o período do ano mais adequado para a realização das perfurações (janela ambiental);
- D) Todas as informações desta síntese deverão estar consolidadas no Mapa de Sensibilidade Ambiental. No mesmo mapa deverá estar ilustrada a área onde se realizará a atividade e os Índices de Sensibilidade do Litoral, as áreas de concentração, reprodução, desova, nidificação e alimentação, rotas de migração de cetáceos e quelônios, presença de portos, marinas; áreas de pesca e demais principais usos socioeconômicos com sensibilidade ambiental na All.
- E) Esta análise deverá fornecer informações que auxiliem na identificação e na avaliação dos impactos decorrentes da atividade.

II.6 – IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS

- A) A identificação e a avaliação dos impactos ambientais da atividade, de suas alternativas e das atividades associadas, deverão ser realizadas adotando-se métodos consagrados na literatura, que deverão ser claramente explicitados quanto aos critérios para interpretação da magnitude e importância, dos impactos ambientais;
- B) A avaliação dos impactos ambientais deverá levar em consideração as diversas ações e atividades causadoras e seus tempos de incidência (abrangência temporal), compreendendo as fases de posicionamento da unidade de perfuração, de perfuração e de desativação, incluindo o abandono do poço;



- C) Na apresentação dos resultados da identificação e avaliação dos impactos deverá constar a descrição detalhada dos impactos sobre cada fator relevante e seus aspectos geradores, considerando o exposto na descrição da atividade e no diagnóstico ambiental;
- D) Na avaliação dos impactos ambientais, deverão ser apresentados dados e fontes de referências utilizadas para subsidiar a análise e a discussão da abrangência, magnitude e importância dos impactos;
- E) A identificação e avaliação dos impactos ambientais deverão considerar:
1. A eventual ocorrência de acidentes, quando do desenvolvimento da atividade, abrangendo:
 - A análise histórica de acidentes em atividades semelhantes;
 - A estimativa da probabilidade de ocorrência dos acidentes relevantes, cujas conseqüências contenham potencial de dano ambiental, considerando a vulnerabilidade da atividade;
 2. Os impactos gerados para os meios físico, biótico e socioeconômico nas fases de instalação, operação e desativação do empreendimento;
 3. As condições atuais do ambiente na área de influência, de modo a permitir um prognóstico sobre as variáveis e compartimentos suscetíveis de sofrer, direta ou indiretamente, efeitos significativos dos impactos identificados;
 4. Os impactos ambientais do projeto e de suas alternativas, através da identificação, previsão da magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos relevantes, discriminando e discutindo:
 - Os impactos positivos e negativos (benéficos e adversos);
 - Os impactos diretos e indiretos;
 - Os impactos imediatos e a médio e longo prazos;
 - Os impactos temporários, permanentes e cíclicos, levando em consideração a sazonalidade dos fatores econômicos e ambientais;
 - Seu grau de reversibilidade (reversíveis e irreversíveis);
 - Sua abrangência (locais, regionais e estratégicos).
 5. As suas propriedades cumulativas e sinérgicas com as demais atividades e/ou empreendimentos existentes na área, bem como a distribuição dos custos e benefícios sociais;
 6. Os impactos adversos que não possam ser evitados ou mitigados;
 7. Os planos e programas governamentais, propostos e em implantação na área de influência do projeto, e sua compatibilidade com o empreendimento;
 8. A proposição de medidas destinadas à mitigação dos impactos ambientais decorrentes da atividade;
- F) A discussão dos impactos referentes aos descartes de fluido e cascalho de perfuração e derrames acidentais de óleo deverá ser realizada baseando-se nas modelagens e previsões das mesmas;
- G) A discussão dos impactos referentes a derrames acidentais de óleo, deverá estar também orientada segundo as áreas identificadas pela modelagem como passíveis de serem atingidas pela trajetória de um eventual derrame de óleo;
- H) O resultado da análise deverá ser apresentado na forma de uma matriz de impactos, contendo uma síntese conclusiva dos impactos relevantes a serem considerados nas fases de implantação, operação e desativação de todas as atividades previstas;
- I) Na avaliação dos impactos relacionados ao meio socioeconômico, dentre outros aspectos, deverão ser consideradas as áreas de pesca, especialmente artesanal (pequena escala), baseando-se na análise de mapas. Caso sejam identificados pesqueiros fixos situados dentro da área licenciada, a avaliação dos



impactos deverá ser embasada pelo dimensionamento da atividade pesqueira na área (ex.: estimativas de captura de pescado, número de pescadores, etc.), bem como a restrição de acesso aos pesqueiros promovida pela atividade de perfuração dos poços;

- J) Os impactos relacionados às demais atividades impactadas deve levar em consideração o número de trabalhadores ligados à atividade direta e indiretamente. Assim, deve ser feita uma estimativa da quantidade de pessoas que serão afetadas nos cenários a serem desenvolvidos dos principais impactos reais e potenciais sobre estas atividades, tanto positiva quanto negativamente, incluindo nível de emprego (saldo das contratações e demissões), nível de renda, etc.

II.6.1 - Modelagem da Dispersão de Óleo e Cascalho e Fluido de Perfuração

- A) A empresa deverá elaborar estudos de modelagem para a simulação da trajetória e da dispersão, de cascalho e fluido de perfuração que pretenda lançar ao mar, devendo, para tal, utilizar ferramentas informatizadas, dados operacionais, dados meteo-oceanográficos e outros que se façam necessários. Essas simulações deverão considerar e atender os seguintes aspectos:
- A escolha dos modelos utilizados deverá ser adequadamente justificada, devendo ser claramente indicadas suas premissas básicas e limitações;
 - Em cada simulação, a empresa deverá informar, de maneira objetiva, quais as premissas, parâmetros e valores utilizados como dados de entrada do modelo;
 - A modelagem deverá considerar os parâmetros meteo-oceanográficos condizentes com a área onde se desenvolverá a atividade, sendo que os dados utilizados deverão estar de acordo com o apresentado no diagnóstico do meio físico;
 - Os resultados das modelagens devem ser apresentados em forma gráfica e discutidos.
- B) Deverão ser apresentados as premissas, parâmetros e valores empregados na modelagem.
- Grade batimétrica utilizada no modelo, com as fontes das informações e cotas batimétricas referenciadas, tipo de interpolação, acompanhados de mapas e figuras representativas;
 - Descrição das forçantes utilizadas como entrada no modelo (dados meteorológicos, oceanográficos e parâmetros do óleo), com referências à forma de obtenção (fonte, localização, equipamentos, referência bibliográfica) e tratamento (filtros, médias, interpolações) destes dados;
 - Descrição das considerações (domínio, condições de contorno) e equações utilizadas na confecção do modelo numérico, relativas à modelagem hidrodinâmica e de derrame de óleo;
 - Quando necessário, deve-se apresentar uma justificativa técnica a respeito das limitações do modelo quanto aos dados meteo-oceanográficos utilizados, visto que, em muitos locais, não existem medições recentes que possibilitem a calibração do modelo hidrodinâmico;
 - No caso de simulações de cascalho e fluido de perfuração, o estudo deve indicar as variáveis de entrada dos modelos computacionais. As informações devem vir preenchidas na forma de tabelas, conforme os modelos de tabelas do Anexo IV;
 - Deve ser apresentado um mapa de distribuição de cascalho no assoalho marinho integrando as fases sem *riser* e com *riser*, indicando os contornos de espessura de 1,0 mm, 0,1mm e 0,01 mm;
 - Nas áreas de atividades situadas fora da plataforma continental, a simulação realizada deverá englobar dados de vento e de corrente oceânica, sendo que tais dados deverão estar de acordo com o apresentado no diagnóstico do meio físico;
 - Para as atividades localizadas sobre a plataforma continental, em águas rasas (com profundidade menor que 60 m), a modelagem deverá abranger, além dos dados de vento e correntes costeiras, dados de ondas e correntes de maré, sendo que tais dados deverão estar de acordo com o apresentado no diagnóstico do meio físico;



- Após a apresentação, os dados devem ser interpretados e discutidos, integrando as informações levantadas pela modelagem, considerando as variações sazonais, definindo o quadro final do possível derrame de óleo.

C) Deverão ser apresentadas as simulações da dispersão e trajetória de manchas de óleo provenientes de derramamentos acidentais nos Pontos de Fronteira de cada Área de Modelagem, conforme definido no item "Área de Influência da Atividade", com cenários que atendam aos seguintes aspectos da modelagem:

- *Probabilística*, considerando as condições sazonais;
 - *Determinística crítica*, referindo-se ao pior cenário (*que mais favoreça a chegada do óleo na costa*) dentre as condições sazonais, que será embasada na análise de frequência de fenômenos meteorológicos relevantes à área da atividade, como tempestades oceânicas, sistemas frontais, etc. *As forçantes do cenário determinístico crítico devem estar indicadas no gráfico;*
 - *Determinística nas condições meteooceanográficas mais frequentes, que deverão ser especificadas;*
 - A simulação deve ser interrompida caso sejam satisfeitas quaisquer das três condições apresentadas: i) não existência de óleo no mar com espessura superior ao valor mínimo de 3×10^{-7} m; ii) todo óleo do vazamento remanescente no mar atinge a costa; iii) o tempo de simulação completa 30 dias após o final do vazamento;
 - A empresa deverá indicar o tipo de óleo (grau API, densidade, viscosidade, *pour point*), o local de vazamento (superfície/profundidade, fundo, coordenadas geográficas UTM), e o regime do derramamento (instantâneo ou contínuo) considerado na modelagem;
 - Com relação ao volume do derramamento a ser considerado na modelagem, deverão ser utilizados os critérios de descarga constante na Seção 2.2.1 do Anexo II da Resolução CONAMA 293, ou seja, descargas pequenas - 8 m³, descargas médias - até 200 m³ e descarga de pior caso (VPC);
 - Tanto para modelagem determinística, quanto para a modelagem probabilística, deve ser indicado o volume (m³) de óleo que chega à costa. No caso da modelagem determinística, deverá ser indicada, ainda, uma previsão de tempo de chegada à costa e a trajetória da mancha;
 - As áreas identificadas como passíveis de serem atingidas deverão ser avaliadas de acordo com a seção 3 do Anexo II da Resolução CONAMA 293 (análise de vulnerabilidade). Cabe salientar que os impactos do derramamento de óleo sobre estas áreas deverão ser discutidos no item Identificação e Avaliação dos Impactos Ambientais.
- D) Com relação à modelagem de cascalho e fluido de perfuração, as seguintes considerações também devem ser observadas:
- No caso de simulações de cascalho e fluido de perfuração, o estudo deve indicar as variáveis de entrada dos modelos computacionais. As informações devem vir preenchidas na forma de tabelas, conforme os modelos de tabelas em anexo;
 - Deve ser apresentado um mapa de distribuição de cascalho no assoalho marinho, integrando as fases sem *riser* e com *riser*, indicando os contornos de acumulação com espessuras de 10,0 mm de 1,0 mm, 0,1mm e 0,01 mm.

II.7 – ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS

Deverão ser apresentadas as alternativas tecnológicas e locais das atividades, confrontando-as com a hipótese de não execução da atividade.

II.8 – ANÁLISE E GERENCIAMENTO DE RISCOS AMBIENTAIS

- A) Deverá ser elaborado estudo de avaliação dos riscos ambientais envolvidos nas atividades de perfuração e de apoio, bem como um plano de gerenciamento para a redução dos riscos, considerando os efeitos de acidentes com potencial para causar impactos ambientais;



- B) Deverá ser apresentada uma Análise Preliminar de Riscos (APR) do empreendimento, abrangendo os eventos perigosos cujas causas tenham origem nas instalações analisadas, englobando tanto as falhas de componentes ou sistemas, como eventuais erros operacionais ou de manutenção (falhas humanas).

A Análise de Risco Ambiental deverá contemplar as seguintes etapas:

II.8.1 – Descrição das Instalações

- A) Deverão ser apresentados, resumidamente, os principais sistemas e subsistemas da unidade de perfuração e listados seus equipamentos de segurança mais relevantes;
- B) Deverão ser mencionados os critérios de segurança, incluindo as medidas preventivas adotadas na fase de planejamento da atividade.

II.8.2 – Estudo da Possibilidade de Ocorrência de Zonas de Alta Pressão

- A) Caracterizar, sucintamente, as formações a serem perfuradas pelo poço, identificando a possibilidade de existência de zonas com pressão anormalmente alta que representem riscos à perfuração;
- B) Analisar qualitativamente esse risco, reportando a ocorrência de incidentes dessa natureza havidos em atividades de perfuração realizadas anteriormente na região;
- C) Identificar as medidas preventivas e corretivas a serem adotadas no programa de perfuração que visem, especificamente, minimizar os riscos de influxos incontrolláveis de fluidos das formações e interromper este processo, em caso de sua ocorrência.

II.8.3 – Análise Histórica de Acidentes Ambientais

- A) Deverá ser realizado um levantamento completo de todos os acidentes ocorridos em atividades similares e/ou com o tipo de unidade em questão que, potencial ou efetivamente, tenham causado impactos ao meio ambiente;
- B) A análise histórica deverá descrever, sempre que possível, a tipologia dos acidentes, contemplando todas as possíveis causas, diretas e indiretas, naturais ou não, de explosões, incêndios, derrames e vazamentos de produtos químicos e óleos, não se restringindo a estes, e a magnitude dos danos ambientais, em relação a eventuais efeitos tóxicos, espécies afetadas e sua importância para o ecossistema em análise. Devem ser apresentados todos os dados estatísticos, acompanhados das respectivas referências.

II.8.4 - Identificação dos Eventos Perigosos

- A) Deverá ser elaborado um estudo de avaliação dos riscos envolvidos nas operações de perfuração de cada unidade, bem como um plano de gerenciamento para a redução destes riscos, considerando os acidentes com potencial para causar impactos ambientais;
- B) Deverá ser apresentada uma Análise Preliminar de Riscos (APR) da atividade de perfuração, abrangendo os eventos perigosos cujas causas tenham origem nas instalações analisadas, englobando tanto as falhas de componentes ou sistemas, como eventuais erros operacionais ou de manutenção (falhas humanas);



- C) Na Análise Preliminar de Riscos, deverão ser identificados eventos acidentais que possam acarretar situações de risco com conseqüências ambientais danosas. Deverão ser apresentados todos os cenários passíveis de evoluir para estas situações. Os dados expostos na Análise Histórica de Acidentes Ambientais devem ser utilizados apenas para orientar a estimativa da freqüência de ocorrência dos eventos acidentais. Deverão ser apresentados os graus de severidade com exposição de dados quantitativos. Deverá ser informado se a classificação final dos riscos apresentada é original ou residual;
- D) O levantamento dos eventos acidentais deverá ser estruturado em sistemas e subsistemas, capazes de provocar acidentes (vazamentos, derrames, incêndios e/ou explosões, perda de estabilidade, falhas mecânicas, entre outros), cujas conseqüências possam acarretar impacto ao meio ambiente;
- E) A estimativa da classe de conseqüências deve considerar o possível impacto do acidente ao meio ambiente, levando em conta as características ambientais e socioeconômicas da região atingida;
- F) A empresa deverá justificar como foram estimadas as freqüências e os graus de severidade para cada evento acidental;
- G) Deverão ser apresentadas planilhas das APRs com todos os cenários analisados;
- H) Deverá ser analisado, qualitativamente, o risco da existência de zonas com pressão anormalmente alta, que representem risco à perfuração, em conformidade com a abordagem a ser apresentada no Diagnóstico Ambiental. Deve ser reportada a ocorrência de incidentes dessa natureza havidos em atividades de perfuração realizadas anteriormente na região.

II.8.5 - Gerenciamento de Riscos Ambientais

- A) Deverá ser elaborado um Programa de Gerenciamento de Riscos, contemplando os riscos de acidentes com conseqüências ambientais, nas diferentes etapas das atividades de perfuração e de apoio a serem desenvolvidas no Bloco;
- B) Para cada cenário acidental, deverão ser apresentadas ações preventivas de gerenciamento do risco. Caso o risco tenha sido classificado como risco original, o estudo deverá considerar as medidas mitigadoras/preventivas para alterar a classificação inicial apresentando o risco residual;
- C) Identificar as medidas preventivas e corretivas a serem adotadas no programa de perfuração que visem, especificamente, minimizar os riscos de influxos incontroláveis de fluidos das formações e interromper este processo, em caso de sua ocorrência;
- D) As medidas adotadas para a redução das conseqüências e das freqüências de ocorrência dos eventos acidentais são consideradas parte integrante do gerenciamento de riscos. O Programa de Gerenciamento de Riscos deve conter, no mínimo:
- Procedimentos e ações necessárias para o correto gerenciamento;
 - Os riscos que estão sendo gerenciados;
 - Definição de atribuições;
 - Plano de inspeções periódicas;
 - Programas de manutenção (preventiva e corretiva);
 - Plano para capacitação técnica dos funcionários/treinamentos
 - Processo de contratação de terceiros;
 - Registro e investigação de acidentes;
 - Gerenciamento de mudanças;
 - Sistema de permissão para trabalho;



- Cronograma para implantação/acompanhamento das ações propostas.

Deverão ser mencionados os critérios de segurança, incluindo as medidas preventivas adotadas na fase de planejamento da atividade.

II.9 - PLANO DE EMERGÊNCIA INDIVIDUAL

- A) Este Plano deverá abordar, de forma detalhada, a sensibilidade ambiental da região e os procedimentos descritos na Resolução CONAMA nº 293/01. Deve ser levada em consideração a sensibilidade ambiental da região;
- B) As ações de emergência deverão ser baseadas nos cenários acidentais identificados na realização da Análise de Riscos Ambientais.

II.10 - MEDIDAS MITIGADORAS E COMPENSATÓRIAS E PROJETOS/PLANOS DE CONTROLE E MONITORAMENTO

- A) Com base na avaliação dos impactos ambientais, deverão ser recomendadas medidas que venham a minimizá-los, eliminá-los, compensá-los ou, no caso de impactos positivos, maximizá-los. Estas medidas deverão ser implantadas através de projetos ambientais;
- B) As medidas mitigadoras deverão ser classificadas quanto:
- Ao componente ambiental afetado;
 - Ao caráter preventivo ou corretivo e sua eficácia.
- C) Para a implementação das medidas compensatórias, deverá haver uma participação efetiva da comunidade, da sociedade civil organizada, bem como das instituições governamentais identificadas buscando-se, desta forma, a inserção regional da atividade;
- D) Essas medidas deverão ter sua implantação prevista, visando tanto à prevenção e à conservação do meio ambiente, quanto à recuperação e, ainda, ao melhor aproveitamento das novas condições a serem criadas pela atividade, devendo estas serem consubstanciadas em projetos.

Além das ações necessárias para a mitigação dos impactos significativos, o EIA deverá contemplar, no mínimo, os seguintes projetos:

II.10.1 - Projeto de Monitoramento Ambiental

- A) O Projeto de Monitoramento Ambiental deverá ser realizado nos diferentes compartimentos (água, sedimento e biota);
- B) Deverão ser explicitados e justificados: os parâmetros a serem monitorados, a malha amostral, a frequência de monitoramento e a metodologia empregada, visando o acompanhamento dos impactos identificados no estudo;
- C) O Projeto de Monitoramento Ambiental deverá estabelecer indicadores ambientais adequados, representativos e sensíveis às mudanças causadas pela atividade, objetivando determinar as condições do meio ambiente e a eficiência do monitoramento durante o desenvolvimento da atividade;



- D) O cronograma de monitoramento deverá ser apresentado em forma de tabela, prevendo-se a realização de pelo menos duas campanhas de coleta de dados; uma anterior e uma posterior à realização da atividade;
- E) O projeto de monitoramento ambiental deve contemplar a medição de ventos e de perfis verticais de correntes, salinidade e temperatura ao longo de toda a coluna d'água durante todo o período das atividades;
- F) Deverão ser reportadas todas as observações de alterações ambientais decorrentes da atividade, em relação à fauna marinha, em especial as de interesse comercial, as ameaçadas de extinção e aquelas protegidas por lei;
- G) Deverá ser realizada uma análise granulométrica dos cascalhos e fluido(s) de perfuração a serem descartados no mar, a partir do sistema de controle de sólidos (peneiras, desareador e dessiltador), apresentando os métodos de coleta e análise;
- H) Deverá ser realizado o teste de radiância estática (*Sheen Test*) no fluido excedente que chega à unidade de perfuração. Caso o *sheen test* seja positivo, o fluido de base aquosa excedente não poderá ser descartado e deverá ser efetuado o teste de retorta – Referência *Federal Register / Rules and Regulations (January 22, 2001)* no fluido para avaliar a quantidade de hidrocarbonetos presente neste. Caso o teste de retorta apresente resultado de concentração de hidrocarbonetos superior a 1%, não será permitido o descarte dos cascalhos provenientes deste fluido;
- I) Quanto aos fluidos de perfuração com base aquosa efetivamente utilizados e descartados no mar, solicita-se a caracterização da sua toxicidade aguda e crônica, em testes com os organismos marinhos *Mysidopsis juniae* e *Lytechinus variegatus*, respectivamente. Os resultados deverão ser apresentados em laudos, informando as diferentes diluições das frações de particulados suspensos (FPS) testadas e os valores de CL50 (concentração letal para 50% dos organismos), CENO (concentração de efeito não observado) e CEO (concentração de efeito observado), expressos em ppm (partes por milhão) da FPS. Os laudos deverão conter, ainda, a composição completa dos fluidos descartados;
- J) Os fluidos de base não aquosa não poderão ser descartados diretamente no mar. O descarte desse tipo de fluido somente será permitido quando aderido ao cascalho e desde que o fluido usado para iniciar a perfuração de uma das fases do poço atenda aos seguintes critérios:
- CL50 > 30.000ppm,
 - Biodegradabilidade da base > 60%,
 - Teor de hidrocarbonetos poliaromáticos < 10ppm
- O cascalho descartado não poderá apresentar mais de 6,9% (em peso úmido de cascalho) de base orgânica aderida (n-parafinas e fluidos a base de óleo mineral tratados) ou 9,4% (em peso úmido de cascalho) no caso da base orgânica ser de olefinas internas (IO's), olefinas alfa lineares (LAO), polialfa olefinas (PAO), ésteres, éteres e acetais;
- K) Deverá prever um monitoramento de encalhes em praias da região, com presença de estrutura logística e de pessoal capacitado e licenciado para realizar pronto atendimento e resgate a animais encalhados e monitoramento de praias, caso seja solicitado pelo CMA (Centro de Mamíferos Aquáticos) e/ou pelo Centro TAMAR, de acordo com as metodologias empregadas por estes centros especializados.

II.10.2 - Projeto de Controle da Poluição

Deverão ser estabelecidas diretrizes para o gerenciamento dos resíduos e efluentes gerados em cada etapa da atividade. Estes projetos deverão ser subdivididos para cada etapa específica e deverão estabelecer orientações para:



- Minimização da produção de efluentes, emissões e resíduos;
- Minimização do consumo de energia e recursos naturais;
- Coleta, tratamento e disposição de resíduos;
- Recuperação e reciclagem de resíduos;
- Tratamento e descarte de efluentes;
- Tratamento e controle de emissões atmosféricas.

Para cada um dos itens acima, deverão ser especificadas as metodologias de controle e detecção dos poluentes, incluindo as eficiências e confiabilidades esperadas de cada um (da Unidade de perfuração e das embarcações envolvidas na atividade), assim como as bases de dados que serviram de referência. Além disto, deverão ser descritos os equipamentos e materiais necessários, (marca e modelo de equipamento, capacidade de tratamento diária e eficiência), bem como formas de quantificação (para todos os tipos de resíduos), registro e aferição.

- Deverá ser apresentada uma tabela contendo informações sobre todos os resíduos gerados, a classificação segundo a NBR 10.004, a forma de armazenamento na(s) unidade(s), o local onde está sendo gerado, o tratamento dado na(s) unidade(s) (quando houver), a(s) empresa(s) responsável(is) pela coleta, transporte marítimo e terrestre e disposição final;
- Deverão ser estabelecidas diretrizes específicas para o gerenciamento dos fluidos de perfuração, dos produtos químicos e dos cascalhos;
- Referente à queima de gás, deverá ser estabelecido um projeto de monitoramento das emissões atmosféricas. Deverá ser explicitado o percentual da queima em relação à produção da Unidade e em comparação com outras unidades de mesmo porte;
- Caso o gerenciamento dos resíduos (coleta, armazenamento, transporte e destino final) venha a ser realizado por outra empresa, deverá constar, no EIA, a cópia de sua Licença de Operação dada por órgão ambiental competente.
- Deverá ser apresentado, também, um procedimento para o rastreamento dos resíduos até seu destino final, baseado em documentação. Para os resíduos industriais, deverá ser incluído o procedimento estabelecido pelo órgão estadual competente, no que se refere ao preenchimento de formulários de Manifesto de Resíduos Industriais.

II.10.3 - Projeto de Comunicação Social

O Projeto de Comunicação Social deverá ser implementado ao longo de todo o tempo de vigência do empreendimento, no âmbito dos municípios integrantes de suas áreas de influência direta e indireta, atendendo aos seguintes tópicos:

- O Projeto de Comunicação Social terá como objetivo o esclarecimento da população residente nos municípios mencionados no *caput* deste item, sobre aspectos do empreendimento a ser licenciado, especialmente os relacionados aos seus impactos efetivos e potenciais, medidas a serem adotadas pelo empreendedor para mitigação e controle destes impactos, legislação aplicada ao empreendimento e contribuição do empreendimento no contexto de políticas públicas nacionais e do desenvolvimento regional;
- O Programa de Comunicação Social deverá contemplar os grupos de interesse identificados, definidos no item II.5.3 do presente Termo de Referência, bem como os demais atores sociais da área de influência,



através de instrumentos aqui definidos como *instrumentos de divulgação*, que possibilitem a transmissão de informações em linguagem clara e objetiva, considerando o nível de escolaridade, cultura e conhecimento;

- C) Os instrumentos de divulgação deverão constar de: a) reuniões; b) boletins informativos impressos; c) radiodifusão, conforme as especificações a seguir:

Reuniões: deverão ser realizadas reuniões periódicas, sendo a primeira antes do início das atividades e a última ao final das atividades. Durante o decorrer das atividades, estas reuniões deverão ter periodicidades específicas de realização, definidas para cada grupo de interesse, de acordo com o grau de interface entre a atividade e estes grupos de interesse. O conteúdo destas reuniões deverá focar descrição das atividades, aspectos ambientais da área de influência do empreendimento, impactos ambientais efetivos e potenciais da atividade, medidas mitigadoras e compensatórias aplicáveis a estes impactos e legislação relacionada ao empreendimento. Reuniões semestrais deverão focar especificamente a apresentação dos resultados dos projetos ambientais desenvolvidos durante a atividade. As reuniões deverão ser formalizadas através de convites a pessoas físicas e/ou instituições pertencentes aos grupos de interesse. Os referidos convites deverão ter seu recebimento oficializado através de resposta padronizada, assinada pela pessoa física ou representante legal da instituição convidada, constando da data de recebimento. As reuniões deverão ser documentadas através de: a) lavratura de ata redigida em tempo real, a qual deverá ser assinada por representantes de diferentes grupos de interesse, e posteriormente enviada à CGPEG/IBAMA; b) lista de presença com nome, instituição, profissão, CPF e telefone de contato dos participantes;

Boletins informativos impressos: os boletins informativos deverão ser impressos, com tiragem mínima suficiente para atingir os grupos de interesse que atuam no espaço geográfico definido pela área de influência direta da atividade, além dos grupos de interesse da área de influência indireta, e outros segmentos da sociedade interessados. A tiragem dos boletins impressos deverá ser devidamente justificada. Estes boletins deverão focar a descrição das atividades, os aspectos ambientais da área de influência do empreendimento, impactos ambientais efetivos e potenciais da atividade, medidas mitigadoras e compensatórias aplicáveis a estes impactos e legislação relacionada ao empreendimento, em linguagem que possibilite a compreensão das informações pelos segmentos atingidos. A divulgação deverá ocorrer, dentre outros locais, nos portos de desembarque pesqueiro;

Rádio-difusão: a veiculação de anúncios em rádios AM, FM e VHF (frequência marítima) deverá estar restrita a comunicados específicos sobre as atividades, seus períodos de execução, restrições a outras atividades, divulgação de local, data e hora das reuniões, além de outras informações relevantes à segurança e proteção do meio ambiente. Os horários de veiculação dos anúncios deverão ser compatibilizados aos horários de maior audiência pelos atores diretamente afetados pela atividade a qual se reportará o referido comunicado;

- D) O material impresso, o texto para rádio-difusão e o conteúdo das reuniões/palestras deverão ser apresentados à CGPEG/IBAMA ainda na fase de aprovação do Estudo de Impacto Ambiental;
- E) O acompanhamento do Projeto de Comunicação Social será efetuado através de relatórios semestrais sobre a implementação das atividades, onde deverão constar:

- Modelo dos convites para as reuniões;
- Cópia das respostas padronizadas assinadas pelos convidados;
- Lista de convidados;
- Lista de presença de cada reunião;



- Transcrição dos anúncios de rádio veiculados, acompanhada de documento que ateste a frequência/estação/canal de rádio utilizada(o), e do número e horário de cada tipo de anúncio efetuado.
- F) Conter metas e indicadores que permitam uma avaliação das ações. No que diz respeito aos indicadores, seguem abaixo alguns exemplos a serem adotados:
- N° de incidentes ocorridos com barcos e petrechos de pesca;
 - N° de reclamações e dúvidas a respeito da operação recebidas pela empresa durante o período da atividade de perfuração;
 - N° de reclamações e dúvidas atendidas;
 - N° de entidades levantadas como partes interessadas;
 - N° de entidades que receberam informações sobre o projeto;
 - N° de anúncios radiofônicos previstos;
 - N° de anúncios radiofônicos veiculados.

II.10.4 - Projeto de Educação Ambiental

O Projeto de Educação Ambiental deverá ser elaborado de acordo com o documento "Orientações Pedagógicas do Ibama para a Elaboração e Implementação de Programas de Educação Ambiental no Licenciamento de Atividades de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural" (Anexo III).

Ressaltamos a importância de que as ações previstas no Diagnóstico Participativo, etapa obrigatória do Projeto de Educação Ambiental a ser desenvolvido, leve em consideração outras ações, de caráter similar, já desenvolvidas na mesma região por outras empresas petrolíferas. Portanto destacamos que seja considerada no levantamento, a existência de outras empresas licenciadas pelo IBAMA executando projetos na Bacia de Campos, cujas ações de Educação Ambiental visam a construção coletiva de agenda de prioridades a partir da hierarquização das demandas das comunidades locais. Tais resultados deverão ser apropriados para potencializar as atividades do Projeto de Educação Ambiental a ser proposto, minimizando custos sem sobrecarregar as comunidades, o que implicaria em desgaste do processo participativo.

II.10.5 – Projeto de Educação Ambiental dos Trabalhadores

- A) Este projeto deverá abordar a organização de processos de ensino-aprendizagem visando à **formação continuada** dos trabalhadores envolvidos direta e indiretamente na atividade, enfatizando os cuidados necessários à sua execução e às interferências causadas ao meio ambiente. Neste sentido, deverá ser apresentada uma proposta de Projeto de Educação Ambiental dos Trabalhadores, incluindo, no seu conteúdo programático, a descrição do meio ambiente físico, biótico e antrópico local, a apresentação dos impactos decorrentes da atividade e formas de minimizá-los, o gerenciamento de resíduos, noções sobre conservação de energia, noções sobre legislação ambiental, incluindo a Lei nº 9605/98, e procedimentos de contenção de vazamentos e combate a derrames de óleo. Dentro deste projeto, deverá ser incluído um trabalho específico para criar uma convivência social positiva;
- B) Etapas específicas para as fases de instalação, operação e desativação do empreendimento, deverão ser previstas neste Projeto, sendo que, para cada uma destas fases, todo o efetivo de profissionais envolvidos (inclusive tripulação de embarcações *supply* e efetivo de apoio em terra) deverá receber as informações necessárias ao bom entendimento das interfaces existentes entre as atividades desempenhadas e seus impactos ambientais efetivos e potenciais;
- C) Deverão ser apresentados, em item específico, os conteúdos a serem ministrados, a carga horária total do projeto e de cada conteúdo, o método a ser empregado, o cronograma, os recursos utilizados, o quantitativo de trabalhadores que participarão, e os responsáveis pela elaboração do projeto. Cópias do



material didático que será utilizado nesse Projeto deverão ser anexadas ao mesmo. Recomenda-se que a metodologia prevista para os treinamentos utilize recursos didáticos, participativos, como debates, discussões em grupo e estudos de caso, com a utilização de situações e problemas levantados no diagnóstico ambiental, incluindo os aspectos socioeconômicos da área de influência do empreendimento;

- D) A incorporação de ações pertencentes a programas corporativos de treinamento dos trabalhadores deverá ser devidamente justificada dentro do contexto do empreendimento em questão;
- E) Etapas de complementação e aprofundamento deverão estar previstas neste Projeto, sendo dimensionadas em função do tempo de execução de cada uma das fases do empreendimento.

II.10.6 – Projeto de Monitoramento do Desembarque Pesqueiro

- A) A Empresa deverá desenvolver um monitoramento nos principais portos de desembarque de pescado da região, antes, durante e depois do período de perfuração, de modo a possibilitar o dimensionamento da interferência da perfuração dos poços sobre a pesca local. Este projeto deverá conter as seguintes diretrizes:
 - Apresentar nos seus objetivos, metodologia e coleta de dados, diretrizes para monitoramento o impacto da atividade de perfuração sobre a atividade pesqueira;
 - Apresentar uma planilha contendo informações sobre captura e esforço de pesca (tempo gasto, consumo de combustível, etc) por arte de pesca, características da embarcação e informações ambientais pertinentes;
 - Descrever o percentual de desembarque amostrado, frente ao desembarque total na All para que este possa ser estimado a partir de séries de dados primários;
 - Apresentar o desenho amostral do projeto prevendo coleta diária de dados;
 - Descrever quais os parâmetros serão estimados a partir dos dados coletados e quais análises serão realizadas para avaliar a ocorrência de variações nas pescarias devido à atividade de perfuração;
 - Prever a implementação do projeto de forma contínua para todo o período da licença.
- B) A Empresa deverá prever a utilização da metodologia do Estatpesca/IBAMA, de forma a envolver o Núcleo de Pesca do IBAMA local no planejamento do Projeto, com vistas a conciliar os resultados do projeto com estatísticas pretéritas existentes na região;
- C) Os técnicos responsáveis pela elaboração e execução do Projeto de Monitoramento do Desembarque Pesqueiro deverão ser identificados, encaminhando-se o número dos registros no Conselho de Classe, quando for o caso, e cópias do Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental do IBAMA.

Os Projetos deverão conter a seguinte estrutura:

1. **Antecedentes e Justificativa** – Descrever os antecedentes de implementação de projetos afins por parte dos executores do empreendimento, abordando brevemente as experiências bem sucedidas e os resultados alcançados. Apresentar as justificativas ambientais para a realização dos projetos em foco, dentro do contexto da política ambiental do(s) empreendedor(es), fundamentando os argumentos com dados e estatísticas, nas situações em que estes estiverem disponíveis;
2. **Objetivos (Geral e Específicos)** – O *Objetivo Geral* dos projetos deverá explicitar a finalidade dos mesmos em uma oração ou parágrafo sucinto, de forma clara e realista. Os *objetivos específicos* deverão, em conjunto, atender à totalidade da abrangência do objetivo geral, projetando o cenário dos resultados e das situações esperadas ao final da execução do projeto;



3. **Metas** – As *metas* são etapas necessárias à obtenção dos resultados. O conjunto de todas as metas levará a consecução do objetivo geral. Uma ou mais metas levarão a consecução de cada objetivo específico, devendo estar a ele relacionada(s). As metas são implementadas através de ações (atividades), de forma que uma meta poderá constar de uma ou mais ações (atividades) a ela subordinadas. Para sua melhor definição, as metas devem ser: **mensuráveis** (refletir a quantidade a ser atingida), **específicas** (remeter-se a questões específicas, não genéricas), **temporais** (indicar prazo para a sua realização), **alcançáveis** (serem factíveis, realizáveis) e **significativas** (devem possuir relação com os resultados que se quer obter, ou com o problema a ser solucionado ou minimizado);
4. **Indicadores de implementação das metas** – Os *indicadores de implementação das metas* são utilizados para a avaliação do cumprimento das metas propostas nos projetos. Estes indicadores devem estar diretamente relacionados a cada meta, de forma específica, constando de parâmetros preferencialmente mensuráveis;
5. **Público-alvo** – O *público-alvo* dos projetos é constituído pelos atores os quais estes projetos objetivam atender;
6. **Metodologia** – O tópico *metodologia* objetiva descrever como serão desenvolvidos os projetos, explicitando claramente os métodos e técnicas a serem utilizados, as *etapas de execução*, as metas a elas relacionadas e os *insumos* (bens e serviços) necessários à execução das metas. A metodologia deverá ser descrita separadamente para cada uma das metas componentes dos projetos, as quais estarão subordinadas a diferentes etapas de execução;
7. **Acompanhamento e Avaliação** - Os procedimentos para o acompanhamento das etapas de execução dos projetos e da avaliação do grau de implementação destes deverão ser detalhados neste tópico. O *acompanhamento* dos projetos deverá ocorrer mediante a comparação dos resultados esperados com os resultados parciais e totais obtidos. Além desta análise, um acompanhamento relacionado à operacionalização das metas e de suas respectivas ações (atividades) deverá ser previsto e detalhado neste tópico. Os procedimentos de *avaliação* deverão focar o grau de implementação dos projetos, por meio da análise dos *indicadores de implementação das metas*. É importante prever mecanismos que possibilitem a incorporação, a qualquer tempo, de melhorias contínuas nos projetos, contemplando: (a) a identificação de possíveis inconformidades, suas causas e conseqüências; (b) a implementação de ações corretivas e preventivas para estas inconformidades; (c) a verificação da eficácia destas ações corretivas e preventivas; e, (d) a documentação de quaisquer mudanças evidenciadas pelas incorporações das melhorias contínuas aqui referidas;
8. **Resultados esperados** – Os resultados esperados para cada meta deverão ser apresentados. Neste tópico, deverá ser efetuada uma breve discussão sobre a importância do conjunto destes resultados para o alcance do objetivo geral do projeto proposto;
9. **Inter-relação com outros Projetos** – Quando houver inter-relação entre projetos, estas deverão ser previstas e descritas, com enfoque nas alternativas empregadas para garantir a autonomia ou simultaneidade de execução das metas referentes aos projetos inter-relacionados;
10. **Atendimento à Requisitos Legais e/ou Outros Requisitos** – Todos os projetos deverão considerar os requisitos legais, bem como normas e diretrizes aplicáveis. Neste tópico, estes requisitos deverão ser elencados;
11. **Cronograma Físico-Financeiro** – Um cronograma físico-financeiro deverá ser apresentado, remontando (a) à cronologia mensal de execução das *etapas de execução* e *metas* a elas relacionadas; e, (b) aos



recursos financeiros a serem alocados mensalmente. Este tópico deverá ser preferencialmente apresentado na forma de uma tabela;

12. **Responsabilidade Institucional pela Implementação do Projeto** – Especificar a(s) instituição(ões) responsável(is) pela implementação dos projetos, constando de sua razão social, endereço e telefones de contato. Termos de cooperação, convênios e outros instrumentos utilizados para formalizar parcerias de execução dos projetos entre os empreendedores e terceiros deverão ser devidamente reportados neste tópico;
13. **Responsáveis Técnicos** – Apresentar relação dos técnicos responsáveis pela elaboração e implementação de cada projeto, bem como de toda a equipe técnica participante, indicando a área profissional de atuação, o número de registro no respectivo conselho de classe (para as profissões que possuem conselho de classe), e o número e cópia do registro no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental do IBAMA;
14. **Referências Bibliográficas e Citações** – Proceder com a correta referência aos autores de citações, dados ou informações utilizadas, nos padrões técnico-científicos, e apresentar a relação das referências bibliográficas mencionadas no corpo do texto dos projetos, segundo norma ABNT.

II.11 – CONCLUSÃO

- A) Apresentar, de forma consolidada, uma avaliação de todas as interferências da atividade de perfuração no meio ambiente como um todo, indicando a alternativa tecnológica mais apropriada para as diferentes etapas da atividade;
- B) Identificar as áreas de exclusão (áreas onde a atividade não poderá ser realizada) e as áreas sensíveis (áreas nas quais a atividade deverá ser realizada com determinados controles e restrições), devendo estas áreas ser apresentadas em mapa georreferenciado;
- C) Indicar o período mais favorável para a execução da atividade de perfuração no bloco, indicando os períodos nos quais a atividade não poderá ser realizada ou só poderá ser realizada com controles e restrições;
- D) Concluir sobre a adequação e a compatibilidade da atividade em relação às características da área.

II.12 – BIBLIOGRAFIA

Deverá ser apresentada a bibliografia referenciada no Estudo de Impacto Ambiental, segundo norma ABNT.

II.13 – GLOSSÁRIO

Deverá constar uma listagem e definição dos termos técnicos, abreviaturas e siglas utilizadas no Estudo de Impacto Ambiental.

II.14 – ANEXOS

Anexos considerados pertinentes e que se refiram ao Estudo de Impacto Ambiental ou à atividade de produção, deverão ser incorporados.

II.15 - EQUIPE TÉCNICA



Deverá ser apresentada a equipe técnica multidisciplinar, responsável pela elaboração do Estudo de Impacto Ambiental, indicando a área profissional e o número de registro no respectivo conselho de classe, quando couber, e no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental (anexar cópia do registro referente a cada técnico envolvido), conforme a Resolução CONAMA 001/86.

III – CRITÉRIOS PARA ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL E REALIZAÇÃO DE AUDIÊNCIA PÚBLICA

III.1 – RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL – RIMA

Para adequação ao preconizado na Resolução CONAMA nº 009 de 03.12.87, a empresa empreendedora deve providenciar a confecção do RIMA, cujos objetivos são de informar de forma clara as partes interessadas sobre as características, impactos e medidas mitigadoras da atividade, para subsidiar as discussões pela sociedade no momento da Audiência Pública. O Relatório de Impacto Ambiental – RIMA deverá refletir as conclusões do Estudo de Impacto Ambiental – EIA e conter, no mínimo:

- i) A localização, os objetivos e as justificativas do projeto, sua relação e compatibilidade com as políticas setoriais, planos e programas governamentais e privados, quando for o caso;
- ii) A descrição das atividades propostas e suas alternativas tecnológicas e locacionais;
- iii) A síntese dos resultados do diagnóstico ambiental da área de influência do projeto;
- iv) A descrição dos prováveis impactos ambientais das diferentes fases da atividade, considerando o projeto, as suas alternativas, duração da atividade, os horizontes de tempo de incidência dos impactos e indicação de métodos, técnicas e critérios adotados para sua identificação, quantificação e interpretação;
- v) A descrição do efeito esperado das medidas mitigadoras previstas em relação aos impactos negativos, mencionando aqueles que não possam ser evitados e o grau de alteração esperado;
- vi) A relação dos programas e projetos ambientais;
- vii) Recomendação quanto à alternativa mais favorável;
- viii) Conclusões e comentários de ordem geral.

O RIMA deverá ser apresentado de forma objetiva e adequada a sua compreensão. As informações deverão ser traduzidas em linguagem acessível ao público, ilustradas por mapas, cartas, quadros, gráficos e demais técnicas de comunicação visual, de modo que se possam entender claramente as conseqüências ambientais das atividades e suas alternativas, comparando as vantagens e desvantagens de cada uma delas. Com o objetivo de facilitar o entendimento, recomendamos que seja utilizada apenas uma nomenclatura ao se referir à atividade.

O RIMA será analisado pela CGPEG/IBAMA antes de sua distribuição às partes interessadas. As cópias destinadas à divulgação deverão ser produzidas apenas após a aprovação de seu conteúdo, formato e linguagem pela equipe técnica da CGPEG/IBAMA.

Anexo ao RIMA, deverá ser apresentada uma tabela, em papel e em meio digital (formato *Microsoft Word*), contendo os dados completos (nome, endereço, telefone, pessoa de contato, entre outros) das seguintes instituições:

- Superintendência do IBAMA nos Estados;
- Diretorias do IBAMA (DILIC);



- Diretorias do ICMBio (DIFAP, DIREC);
- Centro TAMAR-ICMBio (Vitória-ES);
- Centro de Mamíferos Aquáticos-ICMBio (Itamaracá-PE);
- Unidades de Conservação federais, estaduais e municipais;
- Órgãos Estaduais de Meio Ambiente;
- Secretarias Municipais de Meio Ambiente;
- Capitania dos Portos nos estados;
- Ministério Público Federal nos estados;
- Controladoria-Geral da União nos Estados;
- Tribunal de Contas Estaduais e Municipais;
- Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca - SEAP nos Estados;
- ANP;
- Associações relacionadas à pesca ou de moradores;
- Colônias de Pesca;
- Federação de Pesca dos Estados;
- Ministério Público Estadual;
- Procuradoria Geral de Justiça;
- Assembléia Legislativa;
- Câmara de Vereadores;
- Ordem dos Advogados do Brasil - OAB nos Estados;
- Movimento Nacional dos Pescadores – MONAPE;
- Conselho da Pastoral dos Pescadores – CPP;
- Demais ONGs locais.

Estas informações são necessárias para a distribuição do RIMA e divulgação da Audiência Pública.

III.1.1 – Conclusão

Realizar uma avaliação da viabilidade do empreendimento, de forma clara e objetiva, em relação às características da área, identificando as interferências mais relevantes da atividade de perfuração no meio ambiente, com destaque para as áreas sensíveis. Também é preciso apontar o período mais favorável para a execução da atividade, indicando os períodos nos quais a atividade não poderá ser realizada ou só poderá ser realizada com controles e restrições.

III.1.2 – Bibliografia

Deverá ser apresentada a bibliografia referenciada no Relatório de Impacto Ambiental, segundo norma ABNT.

III.1.3 – Glossário

Deverá constar uma listagem e definição dos termos técnicos, abreviaturas e siglas utilizadas no Relatório de Impacto Ambiental.

III.1.4 – Anexos

Anexos considerados pertinentes e que se refiram ao Relatório de Impacto Ambiental deverão ser incorporados.

III.1.5 - Equipe Técnica



Deverá ser apresentada a equipe técnica multidisciplinar, responsável pela elaboração do Relatório de Impacto Ambiental, indicando a área profissional e o número de registro no respectivo conselho de classe, quando couber.

III.2 – AUDIÊNCIA PÚBLICA

A Audiência Pública, prevista na Resolução CONAMA nº 009/87, é o instrumento de consulta e esclarecimento da população sobre uma atividade potencialmente poluidora ou causadora de degradação ambiental, como é o caso das atividades de perfuração em áreas ambientalmente sensíveis. Tem como finalidade expor as características da atividade e o conteúdo do Estudo de Impacto Ambiental. Durante a Audiência Pública, os participantes têm a possibilidade de fazer perguntas sobre o empreendimento e o processo de licenciamento, além de encaminhar propostas e solicitações que são protocoladas pelo IBAMA. Esse procedimento permite a incorporação de sugestões e demandas da população no processo de licenciamento ambiental da atividade ou empreendimento.

Objetivando a ampliação da participação social no licenciamento e a eficácia das Audiências Públicas como mecanismo de consulta, a CGPEG/IBAMA tem procurado abranger, de forma mais eficaz, a maior parte da sociedade, por meio de uma distribuição mais ampla dos EIAs/RIMAs, bem como tem avaliado previamente os instrumentos de informação sobre licenciamento utilizados na Audiência Pública (RIMA, material de divulgação e apresentações), visando adequar a linguagem e as informações ao público-alvo.

Para atingir os objetivos a que se destina, a Audiência Pública deverá obedecer aos seguintes procedimentos:

- ✓ A audiência poderá ser convocada pelo IBAMA ou solicitada pela sociedade, nos termos do artigo 2º da Resolução CONAMA nº 009/87, no prazo de 45 dias após publicação no Diário Oficial da União do Edital de Aviso de Audiência Pública e da divulgação na imprensa local;
- ✓ O local da realização da audiência deverá ser de fácil acesso aos interessados, com capacidade de público compatível com o evento e previsão de transporte para os cidadãos que moram em comunidades distantes;
- ✓ O IBAMA será responsável pela promoção e a empresa pela realização da audiência, arcando com todos os ônus, incluindo organização, infra-estrutura, divulgação, assessoria de imprensa, distribuição de folhetos informativos e do regulamento da audiência, etc. Obedecendo à estrutura regimental do IBAMA, faz-se necessária a presença de representante(s) da Superintendência(s) da área de influência da atividade;
- ✓ A audiência pública deve ser realizada em conformidade com o regulamento elaborado pelo IBAMA (Anexo IV).

Caso os procedimentos acima não sejam cumpridos de forma satisfatória, a Audiência Pública será considerada inválida, devendo ser realizada outra audiência para que o processo de licenciamento tenha continuidade. Quando a área de influência direta do empreendimento for extensa geograficamente, abrangendo vários municípios, deve-se realizar mais de uma Audiência Pública para contemplar toda a população residente nesses municípios.

Estão detalhadas, abaixo, todas as providências, de responsabilidade do empreendedor, a serem tomadas para a realização e validade da Audiência Pública:

- 1) Apresentação prévia do que será explanado pela empresa na audiência pública, para análise e aprovação pela CGPEG/IBAMA, do conteúdo e da linguagem, bem como do material de divulgação. A reunião deve ocorrer no IBAMA, com antecedência mínima de 20 (vinte) dias da data da audiência e poderá ser marcada uma reapresentação, caso esta coordenação considere necessário;



2) Divulgação da Audiência Pública:

A empresa deverá providenciar ampla e efetiva divulgação do evento (com data e local), de acordo com as seguintes recomendações:

- (i) Publicação em jornais de grande circulação em datas que variem de 15 dias a, no máximo, 1 semana da data de realização da audiência;
- (ii) Distribuição de faixas em todos os municípios da área de influência da atividade, informando a data, o horário e o local da audiência;
- (iii) Inserção de anúncios em carros de som e nas rádios locais mais ouvidas pela população de todos os municípios da área de influência da atividade, informando inclusive sobre a disponibilidade de transporte até o local da audiência;
- (iv) Distribuição de RIMAs adicionais que venham a ser solicitados antes e durante a realização da audiência pública;

1. Distribuição no início da audiência pública de folheto explicativo do empreendimento previamente aprovado pela CGPEG/IBAMA, seguindo as mesmas diretrizes de elaboração do material de divulgação previsto no Projeto de Comunicação Social (que deverá utilizar apenas uma nomenclatura ao se referir à atividade: "Perfuração Marítima").

3) Entrega de relatório de divulgação da audiência **no dia da realização da mesma, antes do início do evento**, incluindo a lista para onde foram enviados os RIMAs adicionais da atividade no dia da Audiência Pública, e posterior encaminhamento à CGPEG/IBAMA dos respectivos comprovantes de envio para inclusão no processo;

4) Filmagem da Audiência Pública e gravação em áudio, em separado, como garantia de registro (*backup*);

5) Transcrição do evento em forma de ata (ata transcrita), que deverá ser entregue na CGPEG/IBAMA no **prazo de 10 dias após sua realização**;

6) Disponibilização de transporte para as comunidades da área de influência do empreendimento a fim de garantir a ampla participação na Audiência Pública;

7) Infra-estrutura do local do evento e equipamentos:

- (i) Colocação de faixa com data e local da audiência em frente ao local;
- (ii) Colocação da mesa diretora no palco com lugar para uma média de 10 pessoas;
- (iii) Colocação de 3 mesas auxiliares e cadeiras em frente ao palco do auditório (duas do lado direito e uma do lado esquerdo);
- (iv) Na mesa da esquerda colocar o *datashow* para as apresentações em telas grandes em tamanho compatível com o local do evento em ambos os lados;
- (v) Garantir que o sistema de som e de ventilação e/ou refrigeração estejam funcionando apropriadamente;
- (vi) Em uma das mesas do lado direito, colocar um computador e uma impressora e na outra, disponibilizar material de escritório (caneta, lápis, *clips*, grampeador, papel, borracha). Nestas duas mesas ficarão representantes do IBAMA para elaboração da ata sumária da audiência e recebimento das perguntas e documentos a serem protocolados;
- (vii) Garantir que a iluminação do local de realização da audiência permita a visualização adequada das projeções previstas;
- (viii) Reservar 5 lugares do lado esquerdo da plenária para o IBAMA;
- (ix) Reservar lugares no lado direito da plenária para a empresa.



8) Suporte Operacional:





- (i) Assessoria de comunicação para o reconhecimento das autoridades locais presentes no evento;
- (ii) Recepcionistas, em quantidade suficiente para atender o público, para o registro dos presentes na Lista de Presença, para a organização e distribuição de kits contendo o regulamento, formulário de perguntas, caneta e folheto explicativo do empreendimento (aprovado pela CGPEG/IBAMA) e para o recolhimento das perguntas e encaminhamento à mesa auxiliar. Caso seja viável, recomenda-se a contratação de pessoas das comunidades pertencentes a municípios contidos na área de influência da atividade;
- (iii) Contatar Corpo de Bombeiros e Polícia Militar locais, solicitando suporte para eventuais incidentes ocorridos durante a Audiência;
- (iv) Impressão e disponibilização no local da audiência, em quantidade compatível com o número esperado de pessoas presentes, dos seguintes documentos os quais serão encaminhados em meio digital à época da preparação da audiência:
 - Formulário de perguntas escritas;
 - Formulário para inscrição de perguntas orais;
 - Regulamento da Audiência Pública;
 - Lista de Presença.

Anexo 1-1

Cadastro Técnico Federal da OGX

 <p>Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis</p>  <p>CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE</p>			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
2695654	08.926.302/0001-05	23/07/2008	23/10/2008
<p>Nome/Razão Social/Endereço</p> <p>OGX Petróleo e Gás Ltda. Praia do Flamengo, 154 - Grupos 703 e 704 Flamengo RIO DE JANEIRO/RJ 22210-030</p>			
<p>Este certificado comprova a regularidade no</p> <p style="text-align: center;">Cadastro de Atividades Potencialmente Poluidoras</p> <p>Gerenciador de Projeto / Petróleo - Perfuração</p>			
<p>Observações:</p> <p>1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente;</p> <p>2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema.</p> <p>3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente.</p> <p>4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.</p>		<p>A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie.</p> <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">rs98.hh4x.eupp.w73g</p>	

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 <p>Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis</p>  <p>CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE</p>			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
342861	022.090.097-31	20/08/2008	20/11/2008
<p>Nome/Razão Social/Endereço</p> <p>Gloria Maria dos Santos Marins Avenida Mal. Fontenelle 4311 Rua 1 C/28 Jardim Sulacap RIO DE JANEIRO/RJ 21750-000</p>			
<p>Este certificado comprova a regularidade no</p> <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> <p>Controle da Poluição Qualidade da Água Qualidade do Solo Gestão Ambiental</p>			
<p>Observações:</p> <p>1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente:</p> <p>2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema.</p> <p>3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente.</p> <p>4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.</p>		<p>A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie.</p> <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">6nqj.dfy9.4t6b.1wgr</p>	

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)



Anexo 3-1

Informações da pasta de cimento



FISPQ



Testes Toxicidade



Volumetria cimentação



Anexo 3-2

Licença de Operação Nitshore

LICENÇA DE OPERAÇÃO

LO Nº FE011108

A Comissão Estadual de Controle Ambiental - CECA e a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente - FEEMA no uso das atribuições que lhe são conferidas pelo Decreto-Lei nº 134, de 16 de junho de 1975 e pela Deliberação nº 003 de 28/12/77 e de acordo com o Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras, instituído através do Decreto nº 1633, de 21 de dezembro de 1977, concede a presente Licença de Operação, que autoriza

NITSHORE ENGENHARIA E SERVIÇOS PORTUÁRIOS S/A

CNPJ/CPF: 07.522.140/0001-79

Código FEEMA: UN009682/14.13.10

Endereço: RUA FELICIANO SODRÉ, 215 - PARTE - CENTRO - NITERÓI - RJ

a realizar atividades de apoio logístico para atividades offshore - fornecimento de água, ar comprimido, energia elétrica e combustível, armazenamento de material e gerenciamento de resíduos - e serviços de reparo naval em embarcações e plataformas
-X-X-X-X-X-

no seguinte local:

RUA FELICIANO SODRÉ, 215 - PARTE - CENTRO, município NITERÓI

Condições de Validade Gerais

1- Publicar comunicado de recebimento desta licença no Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro e em jornal diário de grande circulação no Estado no prazo de 30(trinta) dias a contar da data de concessão desta licença enviando cópia das publicações à FEEMA conforme determina a NA-0052, R-1, aprovado pela Deliberação CECA nº 4093, de 21/11/01, e publicada no D.O.R.J. de 29/11/01;

2- Esta Licença diz respeito aos aspectos ambientais e não exige o empreendedor do atendimento às demais exigíveis por lei;

3- Esta Licença não poderá sofrer qualquer alteração, nem ser plastificada, sob pena de perder sua validade;

Esta Licença é válida até 07 de junho de 2011, respeitadas as condições nela estabelecidas, e é concedida com base nos documentos e informações constantes do Processo FEEMA nº E-07/203803/2005 e seus anexos.

Rio de Janeiro, 07 de junho de 2006

ISAURA FRAGA
PRESIDENTE FEEMA

LICENÇA DE OPERAÇÃO**LO N° FE011108****Condições de Validade Específicas**

- 4- Requerer a renovação desta Licença de Operação no mínimo 120 (cento e vinte) dias antes do vencimento do seu prazo de validade;
- 5- Atender à DZ-056.R-2 - Diretriz para Realização de Auditoria Ambiental, aprovada pela Deliberação CECA nº 3.427, de 14.11.95, publicada no D.O.R.J. de 21.11.95;
- 6- Atender à NT-202.R-10 - Critérios e Padrões para Lançamento de Efluentes Líquidos, aprovada pela Deliberação CECA nº 1.007, de 04.12.86, publicada no D.O.R.J. de 12.12.86;
- 7- Atender à DZ-1310.R-7 - Sistema de Manifesto de Resíduos, aprovada pela Deliberação CECA nº 4.497, de 03.09.04, publicada no D.O.R.J. de 21.09.04;
- 8- Atender à DZ-1311.R-4 - Diretriz de Destinação de Resíduos, aprovada pela Deliberação CECA nº 3.327, de 29.11.94, publicada no D.O.R.J. de 12.12.94;
- 9- Atender à NBR-12.235 - Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos (Classe I), da ABNT;
- 10- Atender à NBR-14.725 - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ, da ABNT;
- 11- Atender à Resolução nº 001/90 do CONAMA, de 08.03.90, publicada no D.O.U. de 02.04.90, que dispõe sobre critérios e padrões de emissão de ruídos;
- 12- Requerer licença de instalação para as plantas de cimento, salmoura e fluidos de perfuração;
- 13- Encaminhar os efluentes líquidos industriais para tratamento em empresas licenciadas para essa atividade, acompanhados de Manifesto de Resíduos;
- 14- Enviar à FEEMA trimestralmente, relatório informando a quantidade de efluentes líquidos industriais encaminhados para tratamento;
- 15- Informar previamente à FEEMA qualquer alteração ou rescisão no contrato comercial de prestação de serviços com a empresa de tratamento de efluentes industriais;
- 16- Apresentar a revisão do Plano de Emergência Individual – PEI, anualmente e 30 (trinta) dias após o término de cada ação de resposta a um incidente por óleo;
- 17- Não realizar queima de qualquer material ao ar livre;
- 18- Evitar todas as formas de acúmulo de água que possam propiciar a proliferação do mosquito *Aedes aegypti*, transmissor da dengue;

O não cumprimento das condições constantes desta licença e das normas ambientais vigentes sujeita o infrator, pessoa física ou jurídica, às sanções previstas na Lei Estadual nº 3467, de 14.09.2000 e na Lei Federal nº 9605, de 12.02.1998, e poderá levar ao cancelamento da mesma.



LICENÇA DE OPERAÇÃO

LO Nº FE011108

Condições de Validade Específicas

- 19- Eliminar métodos de trabalho e ambientes propícios à proliferação de vetores (insetos e roedores nocivos);
- 20- Manter atualizados, junto à FEEMA, os dados cadastrais relativos à atividade ora licenciada;
- 21- Submeter previamente à FEEMA, para análise e parecer, qualquer alteração na atividade;
- 22- A FEEMA exigirá novas medidas de controle, sempre que julgar necessário.-x-x-x-x-x-

O não cumprimento das condições constantes desta licença e das normas ambientais vigentes sujeita o infrator, pessoa física ou jurídica, às sanções previstas na Lei Estadual nº 3467, de 14.09.2000 e na Lei Federal nº 9605, de 12.02.1998, e poderá levar ao cancelamento da mesma.



Anexo 3-3

Tabelas do Anexo I e II do TR

Tabela 1 - Dados dos fluidos de perfuração

Componente	Função	Fluido (tipo): BASE AQUOSA		
		Classe:		
		Fluido 1: BENTONITA	Fluido 2: RISERLESS	Fluido 3: KCl/ KLAGARD COM
		Kg/m3	Kg/m3	Kg/m3
ÁGUA	-	963,26	2,43	2,09
BARITA	Adensante		529,79	570,62
BENTONITA	Viscosificante	91,3	57,06	
CARBONATO DE CALCIO	Adensante			85,59
CLORETO DE POTASSIO	Inibidor de folhelho			42,8
CLORETO DE SÓDIO	Adensante			57,06
DUOVIS	Viscosificante		0,71	5,71
KLA-GARD	Inibidor de folhelho			22,82
MI-BR ALPHAFREE	Anti-encerante/ Lubrificante			8,56
MI-BR TROL	Redutor de filtrado			17,12
ÓXIDO DE MAGNÉSIO	Modificador de pH			1,43
POLYPAC UL	Controlador de filtrado			5,71
POLYPAC R	Controlador de filtrado			2,85
SODA CAUSTICA	Modificador de pH	0,43	0,71	
Propriedades Físico-Químicas				
Peso específico		1,02 – 1,08	1,02 – 1,08	1,08 – 1,20
Salinidade		< 1.500	< 10.000	18.000 – 50.000
pH		≤ 9,0	≤ 9,0	9,5
Toxicidade				
Toxicidade aguda				
CL50		> 1.000.000	> 1.000.000	227930,62
Código do laudo		L1732MJA	L3275MJA	L4312MJA
Data do laudo		7/1/2005	5/6/2007	24/7/2008
Toxicidade crônica				
CENO ppm		500000	XXXX	3906
CEO ppm		1000000	> 1.000.000	7812
VC ppm		707106	XXXX	5524
Código do laudo		L1732LVC	L3275LVC	L4312LVC
Data do laudo		7/1/2005	8/6/2007	21/7/2008

Tabela 1 - Dados dos fluidos de perfuração

Componente	Função	Fluido (tipo): BASE AQUOSA				
		Classe:				
		Fluido 1: BENTONITA PRÉ HIDRATADA	Fluido 2: RISERLESS PAD MUD	Fluido 3: KCl/ KLAGARD COM ANTIENCERANTE	Fluido 4: SISTEMA FLUIDO PARADRIL	Fluido 5: BIO- BASE 360
		Kg/m3	Kg/m3	Kg/m3	Kg/m3	Kg/m3
ÁGUA	-	963,26	2,43	2,09	249,65	
BARITA	Adensante		529,79	570,62	292,27	
BENTONITA	Viscosificante	91,3	57,06			
CARBONATO DE CALCIO	Adensante			85,59	42,8	
CLORETO DE POTASSIO	Inibidor de folhelho			42,8		
CLORETO DE SÓDIO	Adensante			57,06		
DUOVIS	Viscosificante		0,71	5,71		
KLA-GARD	Inibidor de folhelho			22,82		
MI-BR ALPHAFREE	Anti-encerante/ Lubrificante			8,56		
MI-BR TROL	Redutor de filtrado			17,12		
ÓXIDO DE MAGNÉSIO	Modificador de pH			1,43		
POLYPAC UL	Controlador de filtrado			5,71		
POLYPAC R	Controlador de filtrado			2,85		
SODA CÁUSTICA	Modificador de pH	0,43	0,71			
BIO-BASE 360	Fluido Base				447,71	2,85
CLORETO DE CÁLCIO	Saponificação				96,01	
ECOTROL F	Controlador de filtrado				2,85	
ECOTROL RD	Controlador de filtrado				1,43	
HRP	Viscosificante				1,43	
LIME	Modificador de pH				19,97	
MI-BR CLAY PLUS	Viscosificante				14,27	
NOVAMUL	Emulsificante				19,97	
NOVAWET II/PLUS	Emulsificante				5,71	
VG SUPREME	Viscosificante				4,28	
Propriedades Físico-Químicas						
Peso específico		1,02 – 1,08	1,02 – 1,08	1,08 – 1,20	1,32 – 1,50	
Salinidade		< 1.500	< 10.000	18.000 – 50.000	150000	
pH		≤ 9,0	≤ 9,0	9,5	NA	
Toxicidade						
Toxicidade aguda						
CL50		> 1.000.000	> 1.000.000	227930,62	641.982,58	337.587,49
Código do laudo		L1732MJA	L3275MJA	L4312MJA	L3784MJA	L3783MJA
Data do laudo		7/1/2005	5/6/2007	24/7/2008	28/8/2008	11/4/2008
Toxicidade crônica						
CENO ppm		500000	XXXX	3906	500.000	7.812
CEO ppm		1.000.000	> 1.000.000	7812	1.000.000	15.625
VC ppm		707106	XXXX	5524	707.107	11.048
Código do laudo		L1732LVC	L3275LVC	L4312LVC	L3784LVC	L3783LVC
Data do laudo		7/1/2005	8/6/2007	21/7/2008	24/8/2008	2/4/2008

Tabela 1 - Dados dos fluidos de perfuração

Componente	Função	Fluido (tipo): BASE AQUOSA				
		Classe:				
		Fluido 1: BENTONITA PRÉ HIDRATADA	Fluido 2: RISERLESS PAD MUD	Fluido 3: KCI/ KLAGARD COM ANTIENCERA NTE	Fluido 4: SISTEMA FLUIDO PARADRIL	Fluido 5: BIO- BASE 360
		Kg/m3	Kg/m3	Kg/m3	Kg/m3	Kg/m3
ÁGUA	-	963,26	2,43	2,09	249,65	
BARITA	Adensante		529,79	570,62	292,27	
BENTONITA	Viscosificante	91,3	57,06			
CARBONATO DE CALCIO	Adensante			85,59	42,8	
CLORETO DE POTASSIO	Inibidor de folhelho			42,8		
CLORETO DE SÓDIO	Adensante			57,06		
DUOVIS	Viscosificante		0,71	5,71		
KLA-GARD	Inibidor de folhelho			22,82		
MI-BR ALPHAFREE	Anti-encerante/ Lubrificante			8,56		
MI-BR TROL	Redutor de filtrado			17,12		
ÓXIDO DE MAGNÉSIO	Modificador de pH			1,43		
POLYPAC UL	Controlador de filtrado			5,71		
POLYPAC R	Controlador de filtrado			2,85		
SODA CÁUSTICA	Modificador de pH	0,43	0,71			
BIO-BASE 360	Fluido Base				447,71	2,85
CLORETO DE CÁLCIO	Saponificação				96,01	
ECOTROL F	Controlador de filtrado				2,85	
ECOTROL RD	Controlador de filtrado				1,43	
HRP	Viscosificante				1,43	
LIME	Modificador de pH				19,97	
MI-BR CLAY PLUS	Viscosificante				14,27	
NOVAMUL	Emulsificante				19,97	
NOVAWET II/PLUS	Emulsificante				5,71	
VG SUPREME	Viscosificante				4,28	
Propriedades Físico-Químicas						
Peso específico		1,02 – 1,08	1,02 – 1,08	1,08 – 1,20	1,32 – 1,50	
Salinidade		< 1.500	< 10.000	18.000 – 50.000	150000	
pH		≤ 9,0	≤ 9,0	9,5	NA	
Toxicidade						
Toxicidade aguda						
CL50		> 1.000.000	> 1.000.000	227930,62	641.982,58	337.587,49
Código do laudo		L1732MJA	L3275MJA	L4312MJA	L3784MJA	L3783MJA
Data do laudo		7/1/2005	5/6/2007	24/7/2008	28/8/2008	11/4/2008
Toxicidade crônica						
CENO ppm		500000	XXXX	3906	500.000	7.812
CEO ppm		1.000.000	> 1.000.000	7812	1.000.000	15.625
VC ppm		707106	XXXX	5524	707.107	11.048
Código do laudo		L1732LVC	L3275LVC	L4312LVC	L3784LVC	L3783LVC
Data do laudo		7/1/2005	8/6/2007	21/7/2008	24/8/2008	2/4/2008

Tabela 1 - Dados dos fluidos de perfuração

Componente	Função	Fluido (tipo): BASE AQUOSA		
		Classe:		
		Fluido 1: BENTONITA PRÉ HIDRATADA	Fluido 2: RISERLESS PAD MUD	Fluido 3: KCl/ KLAGARD COM ANTIENCERANTE
		Kg/m3	Kg/m3	Kg/m3
ÁGUA	-	963,26	2,43	2,09
BARITA	Adensante		529,79	570,62
BENTONITA	Viscosificante	91,3	57,06	
CARBONATO DE CALCIO	Adensante			85,59
CLORETO DE POTASSIO	Inibidor de folhelho			42,8
CLORETO DE SÓDIO	Adensante			57,06
DUOVIS	Viscosificante		0,71	5,71
KLA-GARD	Inibidor de folhelho			22,82
MI-BR ALPHAFREE	Anti-encerante/ Lubrificante			8,56
MI-BR TROL	Redutor de filtrado			17,12
ÓXIDO DE MAGNÉSIO	Modificador de pH			1,43
POLYPAC UL	Controlador de filtrado			5,71
POLYPAC R	Controlador de filtrado			2,85
SODA CAUSTICA	Modificador de pH	0,43	0,71	
Propriedades Físico-Químicas				
Peso específico		1,02 – 1,08	1,02 – 1,08	1,08 – 1,20
Salinidade		< 1.500	< 10.000	18.000 – 50.000
pH		≤ 9,0	≤ 9,0	9,5
Toxicidade				
Toxicidade aguda				
CL50		> 1.000.000	> 1.000.000	227930,62
Código do laudo		L1732MJA	L3275MJA	L4312MJA
Data do laudo		7/1/2005	5/6/2007	24/7/2008
Toxicidade crônica				
CENO ppm		500000	XXXX	3906
CEO ppm		1000000	> 1.000.000	7812
VC ppm		707106	XXXX	5524
Código do laudo		L1732LVC	L3275LVC	L4312LVC
Data do laudo		7/1/2005	8/6/2007	21/7/2008



Anexo 3-4

Ficha de Segurança dos Componentes dos Fluidos de Perfuração



MSDS Contingência



MSDS Primários



Anexo 3-5

Laudo do Teor de Metais na Baritinha

RELATÓRIO DE ENSAIO ANALÍTICO DE METAIS		Projeto AS: 01266CS
Cliente: MI SWACO DO BRASIL LTDA.		
Endereço: RUA DEZENOVE DE FEVEREIRO, 30 – 4º ANDAR BOTAFOGO		
Cidade: RIO DE JANEIRO	UF: RJ	CEP: 22280-030
Código do projeto do cliente: --		

DATAS E INFORMAÇÕES GERAIS	
Responsável pela coleta: FABIANO MIRANDA	Data de Digestão: 07 a 23/05/2007
Data de recebimento da amostra: 02/05/2007	Data de Injeção: 17 a 23/05/2007
Temperatura de Recebimento °C (Faixa): 24,4	Data de Quantificação: 23/05/2007
Data de amostragem (quarteamento): N.A.	Data de Emissão do Relatório: 24/05/2007
Data da coleta da amostra: 26/04/2007	Data de Reemissão do Relatório: 15/06/2007

MÉTODOS UTILIZADOS
Método(s) Interno(s)*: PE 4.9 - 401 Rev. 00 (ICP-OES) e PE 4.9 - 404 Rev. 00 (AAS)
Método(s) Externo(s)**: US EPA 3050/6010B (Metais por ICP), 7470A/7471A (Hg)
<ul style="list-style-type: none"> * Método utilizado como referência direta nos ensaios. ** Método normalizado, adaptado e validado.

RESPONSÁVEIS	
Relatório emitido por Renata de Andrade Porto CRQ 3ª Região 03112102	
Relatório revisado por Maristela de C. Rezende CRQ 3ª Região 03212415	
Responsável Técnico – Gabriela Kernick Carvalhaes, Ph.D. CRQ 3ª Região 03212398	

OBSERVAÇÕES
<ul style="list-style-type: none"> Os resultados obtidos têm seu valor restrito as amostras analisadas. As amostras foram analisadas como recebidas, isentando o laboratório de qualquer responsabilidade referente aos procedimentos e dados de coleta. A reprodução deste relatório só pode ser total e depende da aprovação formal deste laboratório. Os métodos utilizados neste(s) ensaio(s) apresentam-se conformes em relação ao método referenciado. Caso o ensaio tenha apresentado desvios, adições ou exclusões. Estes estarão listados no item informações adicionais do relatório. A análise de metais foi realizada na AS-SP. N.A. – Não Aplicável. Em caso de reemissão do relatório esta versão substitui as versões anteriores.

RELATÓRIO DE ENSAIO ANALÍTICO DE METAIS		Projeto AS: 01266CS
Cliente: MI SWACO DO BRASIL LTDA.		
Endereço: RUA DEZENOVE DE FEVEREIRO, 30 – 4º ANDAR BOTAFOGO		
Cidade: RIO DE JANEIRO	UF: RJ	CEP: 22280-030
Código do projeto do cliente: --		

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	
Referência A.S.	Referência do Projeto
01266CS001	33-XK-2

RELATÓRIO DE ENSAIO ANALÍTICO DE METAIS					Projeto AS: 01266CS
Parâmetros	Unidades	L.D.	L.Q.	BRANCO	01266CS001
Cádmio	(mg/kg)	0,25	0,50	N.D.	0,79
Mercurio	(mg/kg)	0,04	0,10	N.D.	0,10
Dados das Amostras					
Fator de Diluição				1	1
Umidade (%)				N.A.	N.A.
Observações:					
L.D. - Limite de Detecção do método.				N.D. – Não Detectado Acima do Limite de Detecção.	
L.Q. - Limite de Quantificação do método.				N.A. – Não Aplicável.	

DADOS DE CONTROLE DE QUALIDADE				
Amostra fortificada:	CQS 050707e		Matriz: Solo	
Data de análise:	16/05/2007			
Dados de Recuperação				
Parâmetros	Unidades	Valor Teórico	Valor Obtido	Varição (%)
Cádmio	(mg/kg)	50,00	45,81	8
Mercurio	(mg/kg)	2,50	2,98	19
Observações:				
Critério de aceitação da amostra fortificada - variação menor que 25%.				

Opiniões, Interpretações e Informações Adicionais.
Não se Aplica
Obs.: As opiniões interpretações e informações adicionais não fazem parte do escopo do credenciamento do laboratório listado no quadro de credenciamento

CRENCIAMENTOS - Analytical Solutions Rio de Janeiro
NBR ISO/IEC 17025: 2001 pelo CGCRE/INMETRO – CRL 0178.
NBR ISO 9001: 2000 pela DNV/INMETRO – 379/2001.
MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: Dioxinas, furanos e metabólitos de nitrofuranos.
ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária: Dioxinas e furanos em grãos, metabólitos de nitrofuranos em carne de frango, PAH e TPH em água ambiental e efluente.



Anexo 3-6

Resultados de Toxicidade Aguda e Crônica



Bentonina Pré-hidratação



BIO-BASE 360



KCL-KlaGard com antiencerante



Paradril



Riserless PAD MUD

Anexo 3-7

Resultados do Teste de Biodegradabilidade



Anexo 3-8

Laudo do Teor de HPA na Base do Fluido Sintético



RELATÓRIO DE ENSAIO ANALÍTICO DE HIDROCARBONETOS POLINUCLEARES AROMÁTICOS (HPA)		Projeto AS: 02812CS
Cliente: MI SWACO DO BRASIL – COMÉRCIO SERVIÇOS E MINERAÇÃO Ltda.		
Endereço: RUA DEZENOVE DE FEVEREIRO, 30 – 4º ANDAR – BOTAFOGO		
Cidade: RIO DE JANEIRO	UF: RJ	CEP: 22280-030
Código do projeto do cliente: BIOBASE 360		

DATAS E INFORMAÇÕES GERAIS	
Responsável pela coleta: ROQUE RIBEIRO	Data de Extração: 04/09/2007
Data de recebimento da amostra: 29/08/2007	Data de Injeção: 06/09/2007
Temperatura de Recebimento °C (Faixa): 22,2	Data de Quantificação: 10/09/2007
Data de amostragem (quarteamento): N.A.	Data de Emissão do Relatório: 19/09/2007
Data da coleta da amostra: 15/08/2007	Data de Reemissão do Relatório: -

MÉTODOS UTILIZADOS
Método(s) Interno(s)*: PE 4.9 - 104 Rev. 05
Método(s) Externos(s)**: US EPA 8270D
<ul style="list-style-type: none"> * Método utilizado como referência direta nos ensaios. ** Método normalizado, adaptado e validado.

RESPONSÁVEIS	
Relatório emitido por Renata de Andrade Porto CRQ 3ª Região 03112102	
Relatório revisado por Maristela de C. Rezende CRQ 3ª Região 03212415	

Responsável Técnico – Gabriela Kernick Carvalhaes, Ph.D. CRQ 3ª Região 03212398
--

OBSERVAÇÕES
<ul style="list-style-type: none"> Os resultados obtidos têm seu valor restrito as amostras analisadas. As amostras foram analisadas como recebidas, isentando o laboratório de qualquer responsabilidade referente aos procedimentos e dados de coleta. A reprodução deste relatório só pode ser total e depende da aprovação formal deste laboratório. Os métodos utilizados neste(s) ensaio(s) apresentam-se conformes em relação ao método referenciado. Caso o ensaio tenha apresentado desvios, adições ou exclusões. Estes estarão listados no item informações adicionais do relatório. N.A. – Não Aplicável. Em caso de reemissão do relatório esta versão substitui as versões anteriores

Renata de Andrade Porto
CRQ 3ª Região 03112102

Job 02812CS (Versão 1)

p. 1/4

Laboratório responsável direto pela análise: Analytical Solutions SA
Rua Professor Saldanha, 115, Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ 22461-220.



RELATÓRIO DE ENSAIO ANALÍTICO DE HIDROCARBONETOS POLINUCLEARES AROMÁTICOS (HPA)	Projeto AS: 02812CS	
Cliente: MI SWACO DO BRASIL – COMÉRCIO SERVIÇOS E MINERAÇÃO Ltda.		
Endereço: RUA DEZENOVE DE FEVEREIRO, 30 – 4º ANDAR – BOTAFOGO		
Cidade: RIO DE JANEIRO	UF: RJ	CEP: 22280-030
Código do projeto do cliente: BIOBASE 360		

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	
Referência A.S.	Referência do Projeto
02812CS001	BIOBASE 360

RELATÓRIO DE ENSAIO ANALÍTICO DE HIDROCARBONETOS POLINUCLEARES AROMÁTICOS (HPA)					Projeto AS: 02812CS	
Parâmetros	Unidades	L.D.	L.Q.	02812CS001		
				BRANCO CQB 8250		
Naftaleno	(µg/L)	0,008	0,010	N.D.	N.D.	
Acenaftileno	(µg/L)	0,008	0,010	N.D.	N.D.	
Acenafteno	(µg/L)	0,008	0,010	N.D.	N.D.	
Fluoreno	(µg/L)	0,008	0,010	N.D.	N.D.	
Fenantreno	(µg/L)	0,008	0,010	N.D.	N.D.	
Antraceno	(µg/L)	0,008	0,010	N.D.	N.D.	
Fluoranteno	(µg/L)	0,008	0,010	N.D.	N.D.	
Pireno	(µg/L)	0,008	0,010	N.D.	N.D.	
Benzo[a]antraceno	(µg/L)	0,008	0,010	N.D.	N.D.	
Criseno	(µg/L)	0,008	0,010	N.D.	N.D.	
Benzo[b]fluoranteno	(µg/L)	0,008	0,010	N.D.	N.D.	
Benzo[k]fluoranteno	(µg/L)	0,008	0,010	N.D.	N.D.	
Benzo[a]pireno	(µg/L)	0,008	0,010	N.D.	N.D.	
Indeno[1,2,3-cd]pireno	(µg/L)	0,008	0,010	N.D.	N.D.	
Dibenzo[a,h]antraceno	(µg/L)	0,008	0,010	N.D.	N.D.	
Benzo[ghi]perileno	(µg/L)	0,008	0,010	N.D.	N.D.	
Dados das Amostras						
Fator de Diluição				1	1	
Umidade (%)				N.A.	N.A.	
Dados de Recuperação						
Padrão de Recuperação	Unidades	Faixa de aceitação		Valores Obtidos		
2-Flúor-bifenila	(%)	45 – 135		68	100	
p-Terfenil-d14	(%)	45 – 135		133	120	
Observações:						
L.D. - Limite de Detecção do método.			N.D. – Não Detectado Acima do Limite de Detecção.			
L.Q. - Limite de Quantificação do método.			N.A. – Não aplicável.			



Rua Professor Sampaio, 146
22451-200 - Jardim Botânico
Rio de Janeiro - RJ

Rua Conselheiro Murilo, 146
14030-004 - Vila Militar
Rio de Janeiro - RJ

Av. Antônio Albuquerque de Sá
Empire - 501 - CEP: 21275-000 - RJ
Tel: (52) 3009-1106

Pag. de

02812

www.abs.com.br

GUIA DE REMESSA - Nº DA PROPOSTA ANALYTICAL SOLUTIONS: 2730.07-00

Ident. projeto: **BIORASE 360** Resp. projeto: **José França Filho** Prazo acordado: _____ dias
 Cliente: **M-I SWACO DO BRASIL** Tel. / Fax: **21 3094-5700 / 21 2288-5756** Rush: _____ dias
 Endereço: **Rua Dezenove de Fevereiro, 30 - 4º andar - Botafogo - RJ** E-mail: _____ Normal: _____ dias

Colata realizada por? Cliente Terceirizada

Responsável pela Colata: **Roque Ribeiro**

Amostras entregues em: **28 / 08 / 2007** Hora: _____

Enviar Relatório para (contato): **José França Filho**

Empresa: **M-I SWACO DO BRASIL - Comércio, Serviços e Mineração Ltda.**

Endereço: **Rua Dezenove de Fevereiro, 30 - 4º andar - Botafogo - RJ - 22280-030**

E-mail: **franca@miswaco.com**

N	Ident. da amostra	Data	Hora	Matríz	Qx. Fresc.	Matríz cód.
1	BIORASE 360	15/8/2007	:	Ou	1000 ml	X
2		/ /	:			
3		/ /	:			
4		/ /	:			
5		/ /	:			
6		/ /	:			
7		/ /	:			
8		/ /	:			
9		/ /	:			
10		/ /	:			
11		/ /	:			
12		/ /	:			
13		/ /	:			
14		/ /	:			

Razão Social: **M-I SWACO DO BRASIL - Comércio, Serviços e Mineração Ltda.** IRRATUE: _____ CNPJ: _____
 Endereço Completo: **Rua Dezenove de Fevereiro, 30 - 4º andar - Botafogo - RJ** CEP.: **22280-030** Tel.: **21 3094-5700**
 Contato Financeiro: **Paulo Lobo** E-mail: **diab@miswaco.com** Fax.: **21 2768-5756**
 Endereço para Envio NF: **Rua Dezenove de Fevereiro, 30 - 4º andar - Botafogo - RJ** CEP.: **22280-030**

Observações Gerais: _____ Amostras Recebidas: _____
 As análises mencionadas devem seguir o estabelecido no Acordo Especial AE-038/06, firmado entre as partes. Por: _____ Visto: _____
 Data: _____ Hora: _____

Recebido por: _____ Nome: _____ Ass: _____ Data: _____
 Enviado por: _____ Nome: _____ Ass: _____ Data: _____
 Hora: _____

PARA USO EXCLUSIVO DA ANALYTICAL SOLUTIONS



Anexo 6-1

Modelagem de Cascalho e Fluido



RELATÓRIO TÉCNICO [REV. 00]

MODELAGEM DE MATERIAL PARTICULADO
Poço Honolulu

/BM-C-43

Preparado para:
HABTEC / OGX

Preparado por:
Bruna Cerrone

Revisado por:
Francisco dos Santos

29 de agosto de 2008

PROOCEANO

AV. RIO BRANCO, 311 / 1224 CENTRO
CEP 20.0040-009 RIO DE JANEIRO RJ
TEL | FAX +55 21 2532-5666
WWW.PROOCEANO.COM.BR

RELATÓRIO TÉCNICO [REV.00]

MODELAGEM DE MATERIAL PARTICULADO

Poço Honolulu

/BM-C-43

Preparado para:
HABTEC / OGX

Preparado por:
Bruna Cerrone

Revisado por:
Francisco dos Santos

29 de agosto de 2008

SUMÁRIO

I. INTRODUÇÃO.....	4
II. DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE.....	4
III. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS DA REGIÃO	6
III.1. Corrente	8
III.2. Temperatura e Salinidade.....	12
III.3. Onda.....	14
IV. ESTRATÉGIA DE MODELAGEM	15
IV.1. Modelo Adotado.....	15
IV.2. Descrição das Grades	16
IV.4. Construção das Matrizes de Sólidos.....	21
IV.5. Duração dos descartes.....	24
IV.6. Descartes de Longa Duração	26
V. RESULTADOS.....	27
V.1. Pilhas de Deposição – GRADE 1	27
V.2. Pilha de Deposição – GRADE 2.....	34
V.3. Plumas de Sólidos em Suspensão (SEM RISER)	40
V.4. Plumas de Sólidos em Suspensão (COM RISER)	43
VI. CONCLUSÕES.....	58
VII. BIBLIOGRAFIA.....	59

I. INTRODUÇÃO

Este relatório estuda, através da modelagem numérica, o destino físico do material a ser descartado pela atividade de perfuração do poço Honolulu, no Bloco BM-C-43, Bacia de Campos.

II. DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE

O poço em questão situa-se à 23° 39' 59,87" S e 41° 29' 36,62" W sobre a plataforma continental, na região da Bacia de Campos. A lâmina d'água no ponto de operação é de 165 m e este encontra-se distante aproximadamente 100 Km da Ilha de Cabo Frio, município de Arraial do Cabo, Rio de Janeiro (Figura 1).

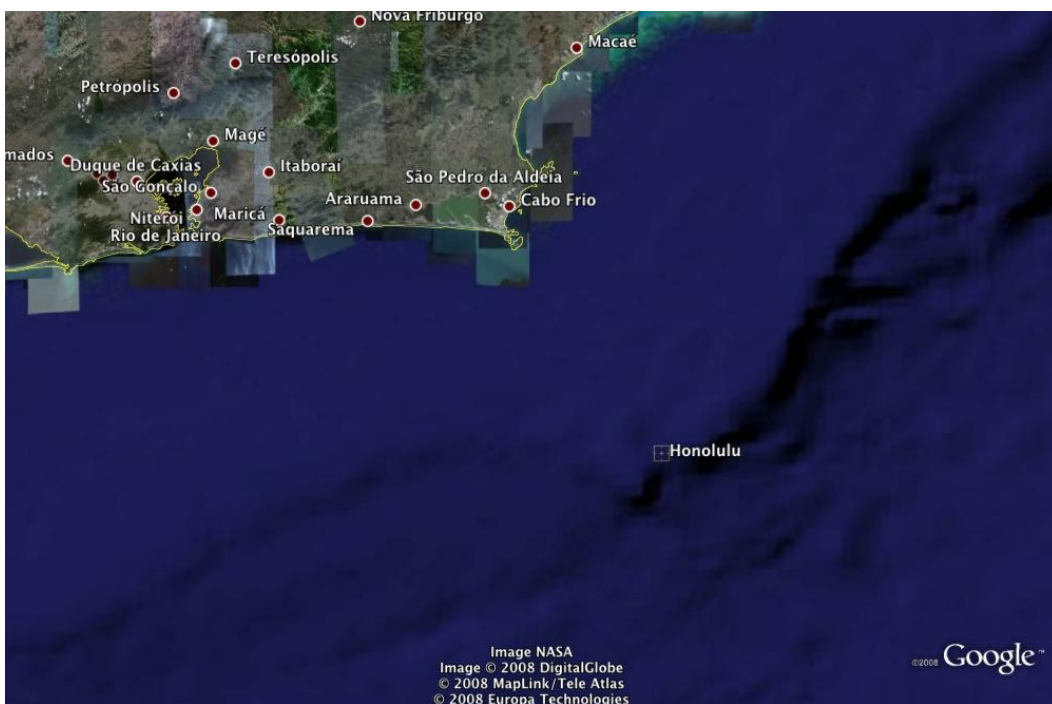


Figura 1: Localização do poço Honolulu, BM-C-43 - Bacia de Campos.

A perfuração ocorrerá em cinco seções. Na primeira seção, cujo descarte ocorre a aproximadamente 7 m do fundo (158 m da superfície), será usado um fluido de base água (GEL SWEEPS). Na segunda seção – com descarte também a 7 m do fundo– a composição de fluidos é formada pela mistura do fluido GEL SWEEPS com o fluido PAD MUD, ambos também de base água. Terminadas estas etapas, o *riser* é instalado e iniciam-se as demais seções. A 3ª seção é feita com o fluido de base água KCL/KLA-GARD com anti-encerante e

as duas últimas com o fluido de base sintética PARADRIL. Nas seções com *riser* o descarte ocorre a 10 m abaixo da superfície.

Na terceira seção, dois tipos de descarte serão realizados durante a atividade. O primeiro é composto pela mistura do cascalho produzido durante a perfuração e da parcela de fluido de perfuração que permanece aderida ao cascalho após a passagem pelo sistema de tratamento. O segundo tipo ocorre ao término da seção, onde há um volume de fluido excedente a ser descartado.

Os volumes e vazões descartados em cada seção são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Descartes previstos para o poço Honolulu no bloco BM-C-43.

Parâmetros	unid.	seção 1	seção 2	seção 3	seção 4	seção 5
profundidade de descarte	m	158,00	158,00	10,00	10,00	10,00
Cascalho e Fluido Aderido						
volume de cascalho	m ³	61,56	127,42	167,03	134,37	13,69
volume de fluido aderido	m ³	170,47	612,56	250,55	67,18	8,22
duração do descarte	h	7,50	31,00	144,00	189,00	40,00
volume total descartado	m ³	232,04	739,98	417,59	201,55	21,91
vazão	m ³ /h	30,94	23,87	2,90	1,07	0,55
Fluido excedente						
volume de fluido excedente	m ³	-	-	260,40	-	-
duração do descarte	h	-	-	3,00	-	-
vazão	m ³ /h	-	-	86,80	-	-
base do fluido	-	água	água	água	sintética	sintética

III. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS DA REGIÃO

A região está sob influência do fluxo da Corrente do Brasil sujeita à passagem de vórtices e meandros da corrente, que juntos ao padrão forçado pelos fenômenos meteorológicos da região caracterizam, de forma resumida, a oceanografia da região.

A escassez de dados oceanográficos disponíveis na costa brasileira torna difícil a tarefa de estabelecer as características típicas da região para serem utilizadas como forçantes no modelo de dispersão.

Para esta caracterização foram utilizados dados disponíveis do *HYCOM Consortium*. Este projeto é resultado de um esforço multi-institucional criado pelo *National Ocean Partnership Program (NOPP)*, parte do *U. S. Global Ocean Data Assimilation Experiment (GODAE)*, para desenvolver e avaliar a assimilação de dados em um modelo oceânico de coordenadas híbridas.

Os resultados do *hindcast* que contempla a região do poço encontram-se disponíveis para utilização na página do projeto. Os dados possuem uma resolução espacial de $1/12^\circ$ e uma série temporal de 02 de janeiro de 2003 a 02 de janeiro de 2007 (aproximadamente 1400 dias), e dispõem, dentre outros parâmetros, de temperatura, salinidade e velocidade da corrente. Os resultados obtidos pelo *HYCOM* se ajustam às principais características regionais descritas na literatura, o que valida a sua utilização neste estudo.

As localizações, do poço e do ponto do *HYCOM* utilizado no estudo, podem ser observadas na Figura 2.

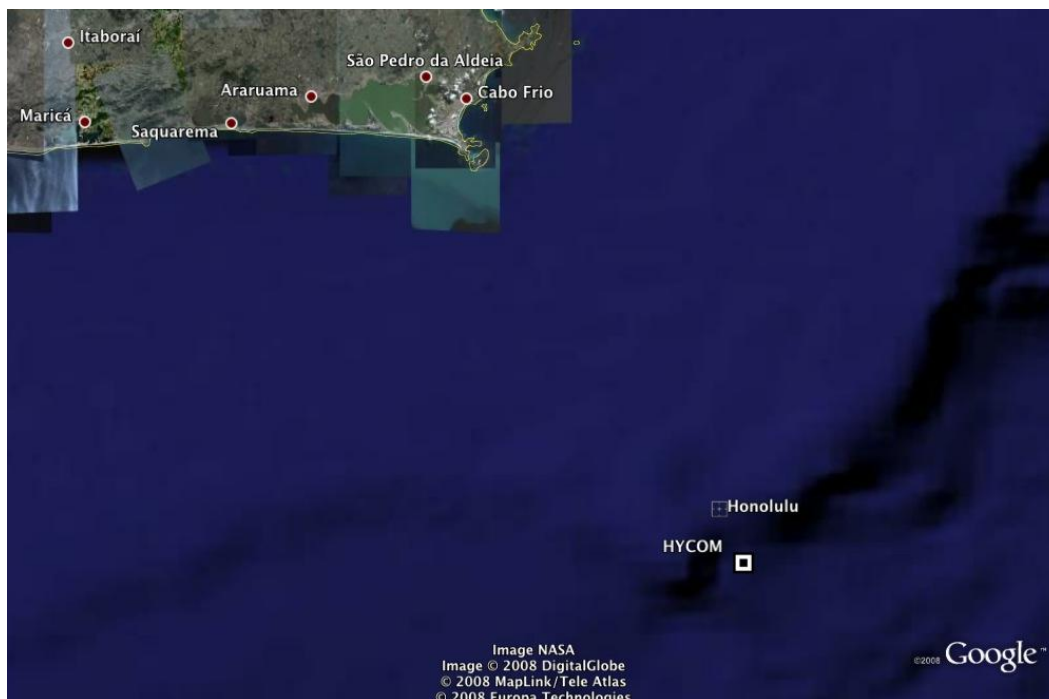


Figura 2: Localização do poço e dos dados do HYCOM utilizados.

Os perfis típicos de corrente, temperatura e salinidade utilizados como forçantes na simulação foram obtidos utilizando a técnica de análise de funções ortogonais empíricas (EOF), que é uma poderosa ferramenta no auxílio a compreensão da variabilidade de fenômenos oceanográficos através de séries temporais.

A análise de EOF oferece como resultado uma descrição resumida da variabilidade espacial e temporal do fenômeno, associada a cada modo normal estatístico. Trata-se da decomposição dos dados em modos normais, onde é possível obter a variação temporal associada a cada um destes modos, e também, a quantificação da representatividade de cada modo dentro da variância total dos dados.

Para a obtenção dos perfis típicos usados na modelagem foi conduzida a análise de EOF escalar, considerando assim que as componentes u e v são independentes e não correlacionáveis.

Os perfis sintéticos construídos são resultado do primeiro modo da EOF, modo este que representa a maior parte da variância. Quanto à variação temporal, optou-se por utilizar a moda deste dado, de forma a representar a situação mais recorrente no tempo.

A Tabela 2 apresenta a variância explicada pelo primeiro modo da EOF, calculada para as componentes u e v da corrente, e para temperatura e salinidade.

Tabela 2: Variância explicada pelo Primeiro Modo da EOF.

Parâmetro	Variância (%)
Componente u	90,37
Componente v	91,52
Temperatura	64,62
Salinidade	76,97

III.1. Corrente

A série original de dados de corrente utilizada para o cálculo da EOF pode ser observada na Figura 3 em todos os seus níveis. Nota-se um sentido preferencial S/SW, com algumas poucas inversões provavelmente associadas a fenômenos de mesoescala oceânica ou atmosférica.

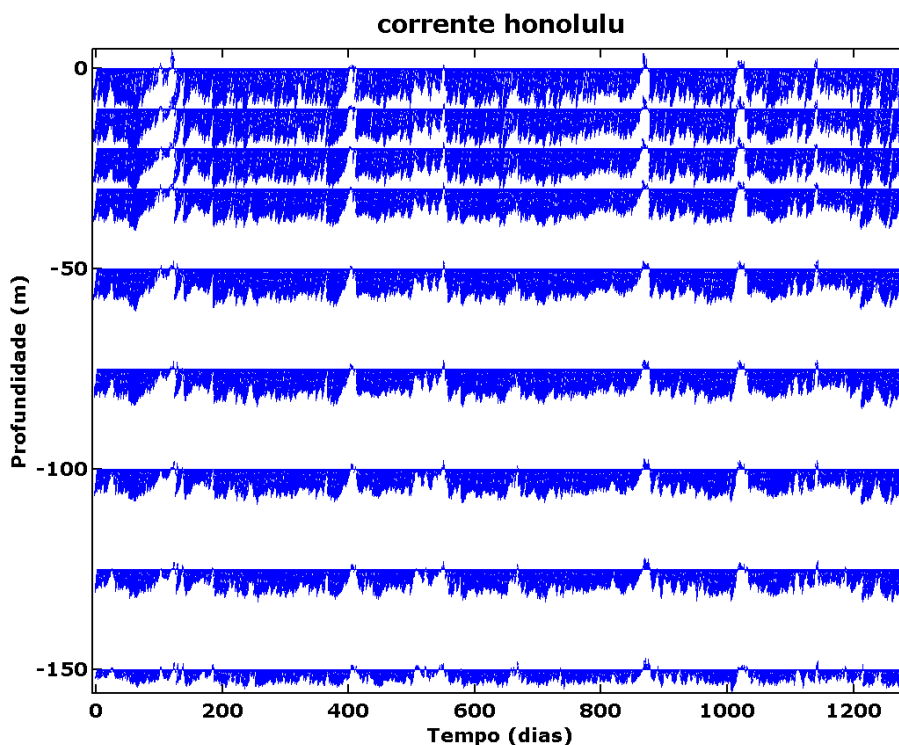


Figura 3: Série temporal de correntes utilizada na análise de EOF para elaboração do perfil sintético de corrente utilizado na modelagem.

Na Figura 4 e Figura 5 são apresentados os perfis sintéticos obtidos pelo primeiro modo da EOF para a componente zonal e para a componente meridional da corrente, respectivamente.

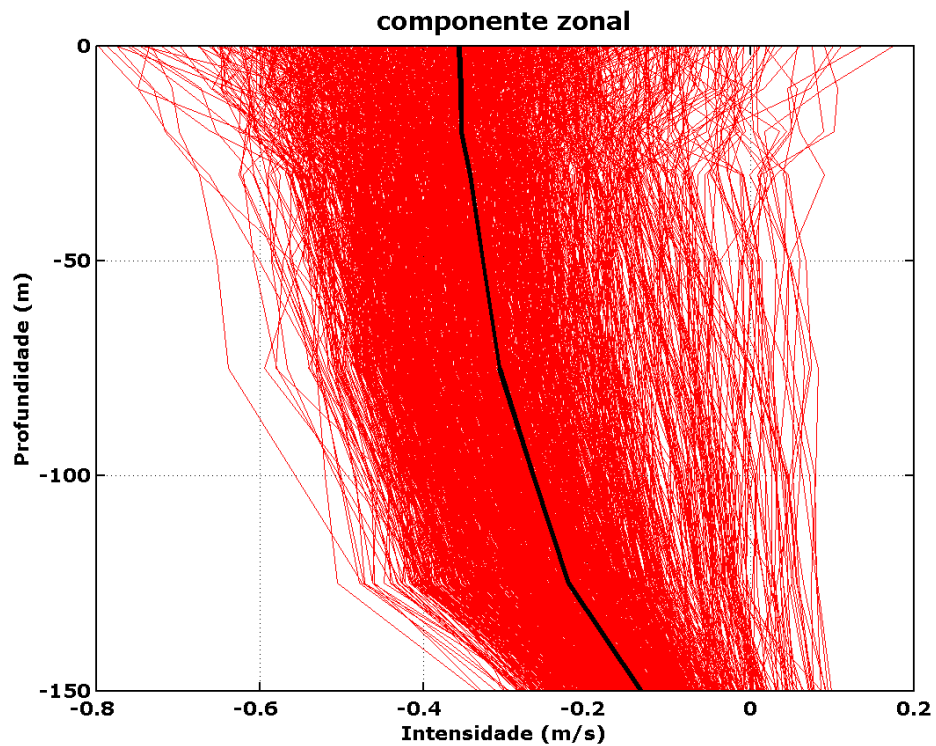


Figura 4: Perfil sintético obtido (preto) a partir das séries temporais (vermelho) para a componente zonal da corrente.

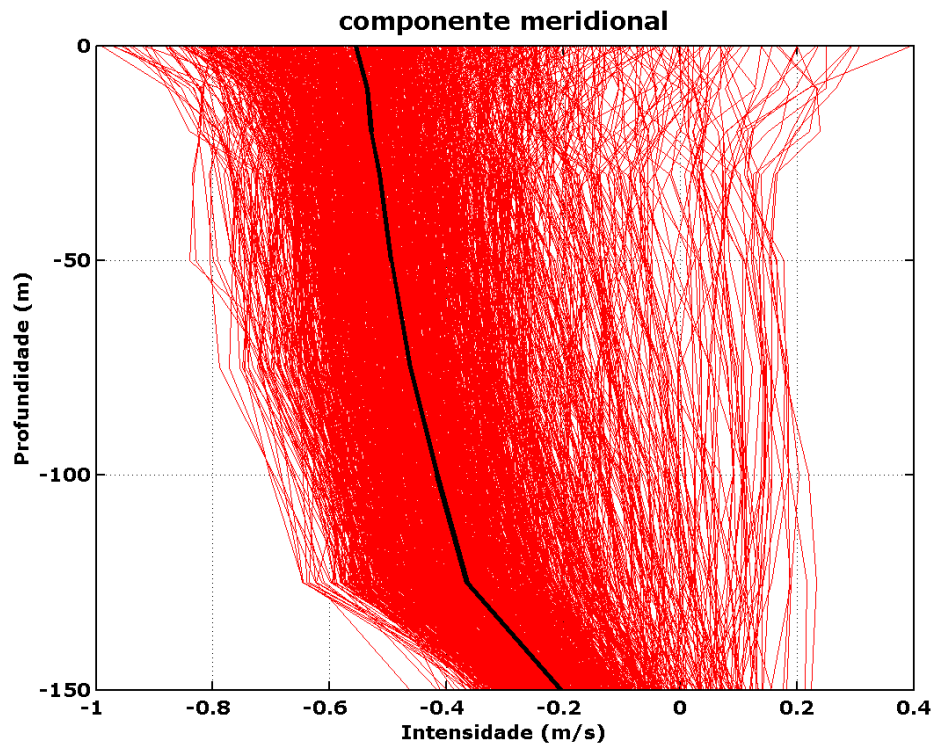


Figura 5: Perfil sintético obtido (preto) a partir das séries temporais dos perfis utilizados (vermelho) para a componente meridional da corrente.

O perfil de correntes obtido pelas componentes zonal e meridional pode ser observado na Figura 6.

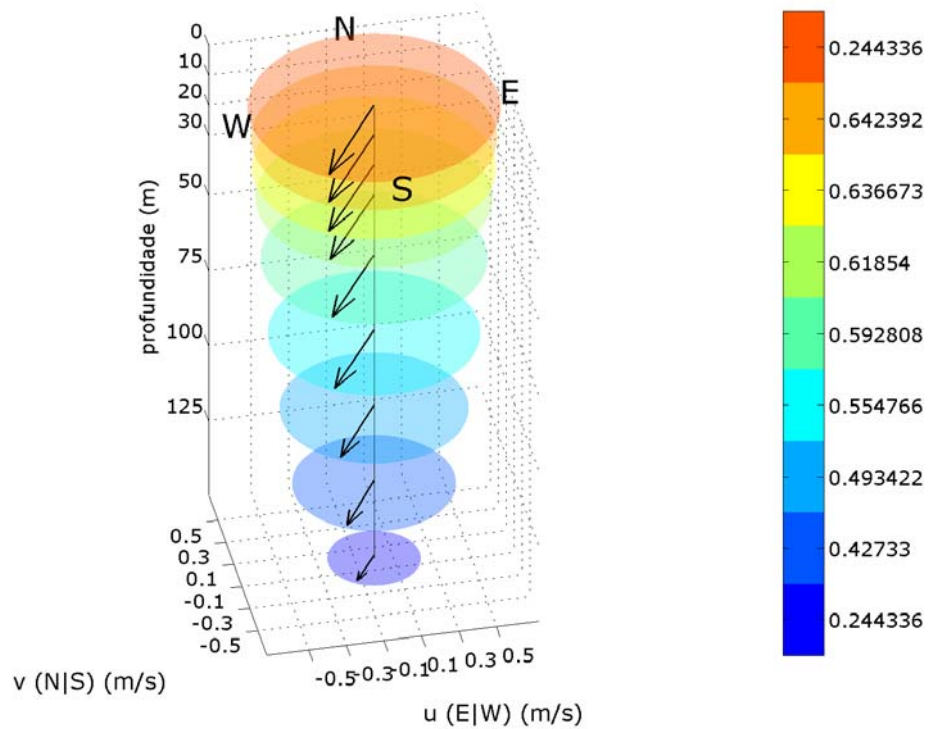


Figura 6: Perfil de correntes utilizado para as simulações. Os círculos envolvendo os vetores são proporcionais à velocidade e seus valores (em m/s) podem ser observados na escala de cor ao lado.

Os dados extraídos dos perfis sintéticos podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3: Componente zonal (u) e meridional (v) da corrente, e respectiva intensidade.

profundidade (m)	u (m/s)	v (m/s)	intensidade (m/s)
0	-0,356	-0,556	0,660
10	-0,354	-0,536	0,642
20	-0,354	-0,529	0,637
30	-0,343	-0,515	0,619
50	-0,327	-0,494	0,593
75	-0,307	-0,462	0,555
100	-0,265	-0,416	0,493
125	-0,222	-0,365	0,427
150	-0,134	-0,204	0,244

III.2. Temperatura e Salinidade

Na Figura 7 é apresentado o perfil obtido para a temperatura e na Figura 8 o perfil sintético da salinidade.

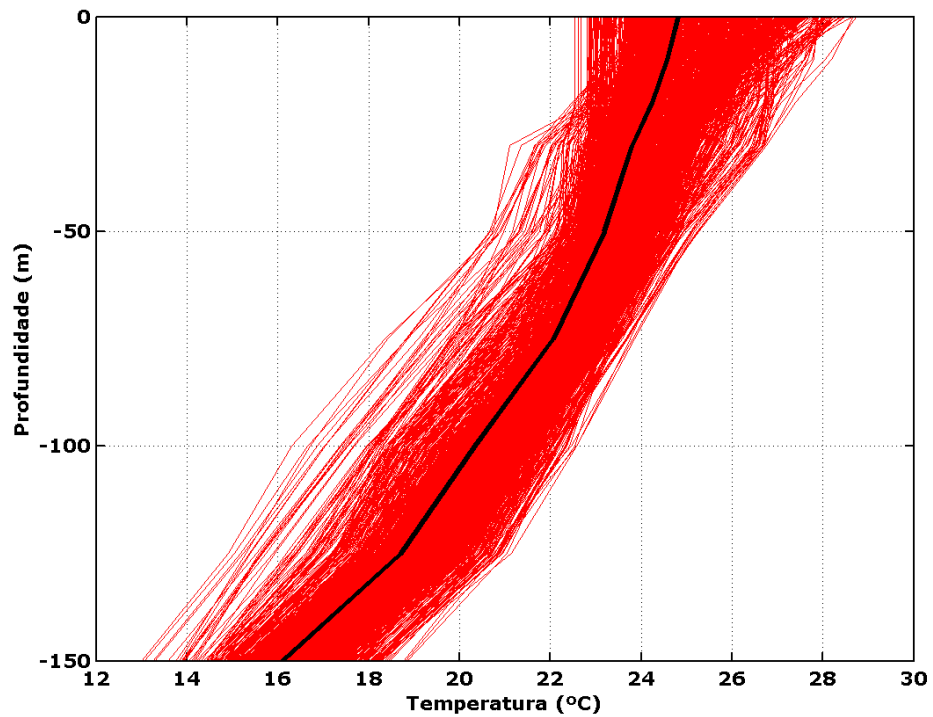


Figura 7: Perfil sintético obtido (preto) a partir das séries temporais dos perfis utilizados (vermelho) para a temperatura.

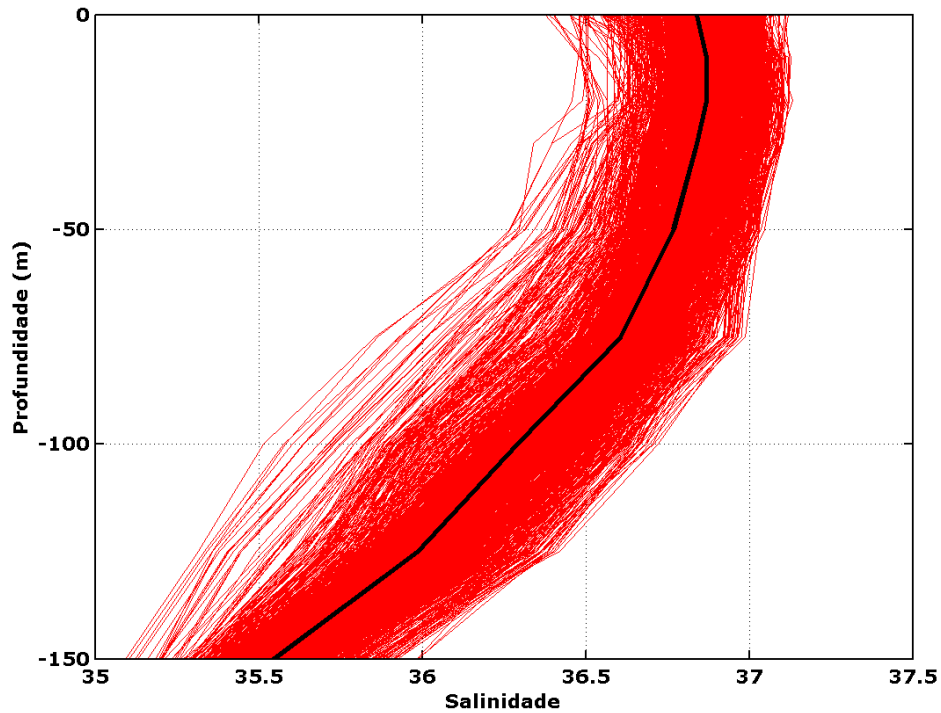


Figura 8: Perfil sintético obtido (preto) a partir das séries temporais dos perfis utilizados (vermelho) para a salinidade.

Os dados extraídos nos perfis sintéticos podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4: Dados de temperatura e salinidade com a profundidade.

profundidade (m)	temperatura (°C)	salinidade
0	24,813	36,838
10	24,564	36,869
20	24,233	36,868
30	23,799	36,840
50	23,183	36,768
75	22,062	36,606
100	20,326	36,289
125	18,705	35,985
150	16,095	35,546

III.3. Onda

Segundo Melo Filho (1991), o litoral brasileiro pode ser dividido, quanto ao clima de ondas, em 2 regiões. A região que vai do litoral sul até Cabo Frio é caracterizado pelo domínio de ondulações com períodos relativamente longos, diferente do encontrado acima de Cabo Frio, onde o clima é dominado por ondas com períodos mais curtos. Desta forma, os resultados encontrados por Violante-Carvalho (1998), na Baía de Campos, podem ser utilizados para o estudo em questão. Segundo o autor, de todas as situações encontradas, a mais comum, com ocorrência de 25,07% durante o período considerado, é um mar em desenvolvimento de Norte/Norte-Nordeste com ondulação de Sul/Sudeste. Na Tabela 5 são apresentados os valores utilizados nas simulações.

Tabela 5: Altura significativa e período de pico utilizado.

Altura significativa (m)	Período (s)
1,0	5,0

IV. ESTRATÉGIA DE MODELAGEM

IV.1. Modelo Adotado

O modelo escolhido para este trabalho é conhecido pelo nome OOC (*Offshore Operators Committee*) e foi desenvolvido especialmente para simulações de descarte de efluentes de plataformas de petróleo.

O modelo OOC simula o comportamento de uma pluma de efluente desde o momento de descarte até um instante e distância determinados pelo usuário. Para tanto, o modelo trabalha em três módulos distintos, encarregados, cada um, de uma diferente fase da pluma.

O primeiro módulo cuida da diluição inicial da pluma, representada em um modelo integral. Este módulo acompanha a evolução do efluente do momento que deixa a fonte até que encontre uma superfície horizontal (fundo ou superfície do mar) ou até que se estabilize no nível de flutuação neutra. Esta fase, também conhecida como *fase de jato*, ocorre enquanto o efluente possui movimento próprio, dado pela diferença de densidade com o meio ou pela velocidade de saída da fonte.

Finda a primeira etapa, o efluente se espalhará na profundidade em que se estabilizou devido ainda à diferença de densidade com o meio. Esta diferença tende a diminuir com o tempo e, em dado momento, sua contribuição para o espalhamento do efluente será inferior àquela dada pela turbulência do ambiente. Neste momento tem início a última fase, de dispersão passiva, onde o efluente, a não ser pela velocidade vertical associada a cada constituinte particulado, não possui movimento próprio e segue apenas a dinâmica local. O OOC aplica a dispersão passiva separadamente para cada constituinte do efluente.

Com o OOC, é possível obter resultados para a concentração de sólidos suspensos e a espessura dos acúmulos de fundo formados pela decantação do material. Estes resultados são gerados pelo modelo em grades cuja resolução é determinada pelo usuário no início da simulação.

Uma descrição detalhada do modelo é encontrada em Brandsma & Smith (1999).

IV.2. Descrição das Grades

Os efeitos dos descartes de sólidos no mar variam consideravelmente de acordo com a distância vertical entre a fonte e o assoalho marinho. Nas seções onde o descarte é feito próximo ao fundo (sem utilização do *riser*), o material tende a formar uma pilha de deposição significativamente maior que àquela associada aos descartes ocorrentes junto à superfície. Por outro lado, o material descartado da superfície (com *riser*) irá percorrer uma grande distância sofrendo influência das forçantes locais e cobrindo uma área maior quando depositado.

Em estudos de modelagem, a relação entre a resolução da grade projetada e a escala do fenômeno estudado é vital na obtenção de bons resultados. Deve-se atentar para o fato de que uma grade ampla, que abranja toda a região de deposição pode não ter resolução suficiente para mapear com exatidão a região de maior espessura. Da mesma forma, uma grade de alta resolução pode não cobrir uma área suficientemente grande como a que se espera para a deposição do material.

É proposto, como solução neste trabalho, o uso de duas diferentes grades. A primeira (grade 1), voltada para a estimativa da área total de deposição possui um espaçamento de 14,5 m e uma área de 2040000 m² (~0,2 km²). A segunda (grade 2), projetada para a região de maior acúmulo de sedimentos, possui uma resolução espacial de 2,5 m e cobre uma área de 62500 m² (0,06 km²).

A comparação das duas grades projetadas e seus pontos de lançamento pode ser observada na Figura 9.

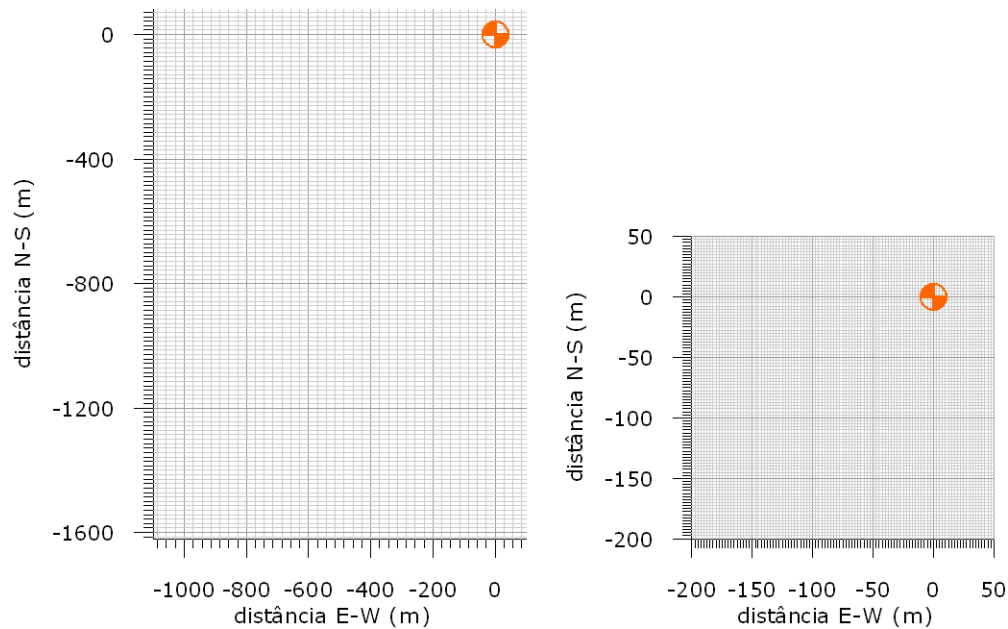


Figura 9: Comparação entre as duas grades projetadas para o estudo. A marcação em laranja representa a posição do ponto de lançamento em cada grade.

IV.3. Descrição dos Descartes

Na Tabela 6 são apresentadas as simulações realizadas e os códigos a elas associados neste estudo, referentes à seção e ao tipo de material descartado.

Tabela 6: Relação das simulações realizadas no estudo.

simulação	material	seção
SOL_SEC1	cascalhos e fluido aderido	1
SOL_SEC2	cascalhos e fluido aderido	2
SOL_SEC3	cascalhos e fluido aderido	3
FLU_SEC3	fluido excedente	3
SOL_SEC4	cascalhos e fluido aderido	4
SOL_SEC5	cascalhos e fluido aderido	5

No modelo OOC são necessários os seguintes parâmetros para a descrição do descarte:

- vazão;
- raio da fonte;
- profundidade de descarte;
- inclinação vertical;
- direção;
- duração do descarte;
- densidade dos componentes sólidos;
- densidade do efluente.

A densidade do efluente nos descartes de cascalho e fluido aderido é calculada por uma média ponderada entre os volumes V e densidades ρ .

$$\rho_{\text{efluente}} = \rho_{\text{fluido}} \left(\frac{V_{\text{fluido}}}{V_{\text{fluido}} + V_{\text{cascalho}}} \right) + \rho_{\text{cascalho}} \left(\frac{V_{\text{cascalho}}}{V_{\text{fluido}} + V_{\text{cascalho}}} \right)$$

Utilizando a seção 1 como exemplo, consideramos $V_{\text{fluido}}=170,5 \text{ m}^3$, $V_{\text{cascalho}}=61,56 \text{ m}^3$, $\rho_{\text{fluido}}=1054,52 \text{ Kg/m}^3$, $\rho_{\text{cascalho}} =2200 \text{ Kg/m}^3$. Considerando a equação acima, chega-se a uma densidade do efluente $\rho_{\text{efluente}}=1358,45 \text{ Kg/m}^3$ para a descarga de cascalhos e fluido aderido.

Os valores obtidos para todos os descartes de cascalho e fluido aderido podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7: Valores usados na descrição da densidade média dos efluentes

Parâmetro	Unidade	SOL_SEC1	SOL_SEC2	SOL_SEC3	SOL_SEC4	SOL_SEC5
V_{total}	m^3	232,04	739,98	417,59	201,55	21,91
V_{cascalho}	m^3	61,56	127,42	167,03	134,37	13,69
V_{fluido}	m^3	170,5	612,6	250,6	67,2	8,2
f_{cascalho}	%	26,53%	17,22%	40,00%	66,67%	62,50%
f_{fluido}	%	73,47%	82,78%	60,00%	33,33%	37,50%
ρ_{casc}	kg/m^3	2200	2200	2400	2500	2600
ρ_{fluido}	kg/m^3	1054,52	1069,91	1198,32	1258,24	1497,90
ρ_{efluente}	kg/m^3	1358,45	1264,51	1678,99	2086,08	2186,71

O modelo OOC é mais bem adaptado à representação de descartes de curta duração. Entretanto, para o cálculo das pilhas de deposição no assoalho marinho, é possível representar descartes de longa duração através de um fator de escala aplicado a um descarte curto.

Ao utilizar-se um perfil estacionário de correntes (que não varia no tempo) e uma vazão constante considera-se que partículas idênticas lançadas nos primeiros e últimos instantes do descarte terão o mesmo comportamento ao longo da coluna d'água. Logo, irão depositar-se na mesma posição.

Assim sendo, é plausível considerar que um descarte de 6 horas formará exatamente a mesma pilha que 6 descartes de 1 hora. Ou seja, é possível representar um descarte de longa duração através de um fator de escala:

$$\gamma = \frac{t}{t_{\text{simulado}}}$$

Onde t é o tempo esperado na operação e t_{simulado} a duração do descarte usada nas simulações. Como as simulações foram efetuadas com 1 hora de descarte o fator de escala é igual ao tempo apresentado na Tabela 1.

Além destes parâmetros, é necessário que se conheça o comportamento das partículas sólidas lançadas em cada descarte. Em virtude das incertezas a respeito do material resultante da perfuração de um poço exploratório, optou-se por usar distribuições genéricas de velocidades de queda baseadas em Brandsma e Smith (1999). Estas distribuições foram obtidas a partir de uma quantidade representativa de experimentos e são aconselhadas no manual do modelo para quando os dados locais são desconhecidos (Tabela 8, Tabela 9, Tabela 10).

Tabela 8: Densidade, fração de volume e velocidade de queda dos sólidos de fluido de base aquosa.

Classe	Fração do volume	velocidade de queda (m/s) ¹
1	0,01	1,12E-02
2	0,04	3,17E-03
3	0,19	8,23E-04
4	0,19	6,40E-04
5	0,13	5,12E-04
6	0,13	4,36E-04
7	0,10	3,00E-04
8	0,05	1,48E-04
9	0,08	6,10E-05
10	0,07	2,74E-05

Tabela 9: Densidade, fração de volume e velocidade de queda para os descartes de cascalhos e sólidos de fluido de base aquosa.

Classe	Fração do volume	velocidade de queda (m/s)
1	0,25	0,259751
2	0,15	0,135179
3	0,16	0,097963
4	0,18	0,040112
5	0,02	0,014472
6	0,03	0,002328
7	0,07	0,000218
8	0,06	0,000017
9	0,08	0,000001

Tabela 10: Densidade, fração de volume e velocidade de queda para os descartes de cascalhos e sólidos de fluido de base sintética.

Classe	Fração do volume	velocidade de queda (m/s)
1	0,13	0,600151
2	0,16	0,499872
3	0,17	0,449885
4	0,16	0,399898
5	0,13	0,365150
6	0,10	0,330098
7	0,07	0,300015
8	0,04	0,269992
9	0,02	0,240000
10	0,01	0,210007
11	0,01	0,200010

¹ De acordo com Bradhma & Smith (1999).

A distribuição obtida para a mistura de cascalhos e sólidos de fluido de base aquosa foi estimada a partir da análise granulométrica do material. Este tipo de estimativa subestima a velocidade de queda dos menores grãos uma vez que não contempla o agrupamento destes em partículas maiores e, por conseqüência, com maiores velocidades de queda. Para corrigir este efeito, usa-se no modelo um coeficiente de ajuste, cujo valor indicado no manual (Brandsma & Smith, 1999) para estas ocasiões é de 28.

IV.4. Construção das Matrizes de Sólidos.

Primeiramente é necessário estimar a fração de sólidos presente em cada descarte. Nos descartes de cascalho e fluido aderido, esta fração é dada pela soma das contribuições do cascalho (f_{casc}) e dos sólidos presentes no fluido (f_{solflu}).

$$f_{soltot} = f_{casc} + f_{solflu}$$

A fração de cascalhos e de sólidos do fluido é extraída diretamente da relação entre o volume de sólidos e o volume total de cada descarte.

Apesar de apresentar uma densidade média nos dados teóricos, o modelo OOC permite que seja atribuída uma densidade específica para cada classe de velocidade de queda descrita. Entretanto, pela falta de conhecimento do material descartado, optou-se por trabalhar com um valor médio de densidade para os sólidos descartados, que são fornecidos pela empresa fabricante do fluido.

Assim, a fração de cada classe de velocidade de queda foi recalculada para adaptar-se aos descartes a serem realizados através da equação:

$$f_{OOC} = f_{Brandsma \& \ Smith} \times f_{estimado}$$

As matrizes calculadas para cada descarte são apresentadas da Tabela 11 a Tabela 16.

Tabela 11: Matriz de densidade, fração e velocidade de queda para o descarte SOL_SEC1. Nesta simulação foi usado o coeficiente ASFM=28.

sólido	dens (g/cm ³)	f _{ooc}	vel queda (pés/s)
sol1	2,2354	0,072866	0,8522000
sol2	2,2354	0,043720	0,4435000
sol3	2,2354	0,046634	0,3214000
sol4	2,2354	0,052464	0,1316000
sol5	2,2354	0,005829	0,0474800
sol6	2,2354	0,008744	0,0076380
sol7	2,2354	0,020402	0,0007160
sol8	2,2354	0,017488	0,0000553
sol9	2,2354	0,023317	0,0000044

Tabela 12: Matriz de densidade, fração e velocidade de queda para o descarte SOL_SEC2. Nesta simulação foi usado o coeficiente ASFM=28.

sólido	dens (g/cm ³)	f _{ooc}	vel queda (pés/s)
sol1	2,2542	0,052275	0,8522000
sol2	2,2542	0,031365	0,4435000
sol3	2,2542	0,033456	0,3214000
sol4	2,2542	0,037638	0,1316000
sol5	2,2542	0,004182	0,0474800
sol6	2,2542	0,006273	0,0076380
sol7	2,2542	0,014637	0,0007160
sol8	2,2542	0,012546	0,0000553
sol9	2,2542	0,016728	0,0000044

Tabela 13: Matriz de densidade, fração e velocidade de queda para o descarte SOL_SEC3. Nesta simulação foi usado o coeficiente ASFM=28.

sólido	dens (g/cm ³)	f _{ooc}	vel queda (pés/s)
sol1	2.3852	0.120473	0.8522000
sol2	2.3852	0.072284	0.4435000
sol3	2.3852	0.077103	0.3214000
sol4	2.3852	0.086741	0.1316000
sol5	2.3852	0.009638	0.0474800
sol6	2.3852	0.014457	0.0076380
sol7	2.3852	0.033733	0.0007160
sol8	2.3852	0.028914	0.0000553
sol9	2.3852	0.038551	0.0000044

Tabela 14: Matriz de densidade, fração e velocidade de queda para o descarte FLU_SEC3.

sólido	dens (g/cm ³)	f _{ooc}	vel queda (pés/s)
sol1	2,3128	0,001370	0,0368000
sol2	2,3128	0,005454	0,0104000
sol3	2,3128	0,026264	0,0027000
sol4	2,3128	0,026264	0,0021000
sol5	2,3128	0,018095	0,0016800
sol6	2,3128	0,018095	0,0014300
sol7	2,3128	0,013649	0,0009850
sol8	2,3128	0,006824	0,0004850
sol9	2,3128	0,010909	0,0002000
sol10	2,3128	0,009565	0,0000900

Tabela 15: Matriz de densidade, fração e velocidade de queda para o descarte SOL_SEC4.

sólido	dens (g/cm ³)	f _{ooc}	vel queda (pés/s)
sol1	2,1747	0,123247	1,96900
sol2	2,1747	0,145509	1,64000
sol3	2,1747	0,154110	1,47600
sol4	2,1747	0,145610	1,31200
sol5	2,1747	0,123247	1,19800
sol6	2,1747	0,093427	1,08300
sol7	2,1747	0,063293	0,98430
sol8	2,1747	0,038350	0,88580
sol9	2,1747	0,020794	0,78740
sol10	2,1747	0,010169	0,68900
sol11	2,1747	0,006191	0,65620

Tabela 16: Matriz de densidade, fração e velocidade de queda para o descarte SOL_SEC5.

sólido	dens (g/cm ³)	f _{ooc}	vel queda (pés/s)
sol1	2,2861	0,123018	1,96900
sol2	2,2861	0,145238	1,64000
sol3	2,2861	0,153823	1,47600
sol4	2,2861	0,145339	1,31200
sol5	2,2861	0,123018	1,19800
sol6	2,2861	0,093253	1,08300
sol7	2,2861	0,063175	0,98430
sol8	2,2861	0,038279	0,88580
sol9	2,2861	0,020755	0,78740
sol10	2,2861	0,010150	0,68900
sol11	2,2861	0,006179	0,65620

IV.5. Duração dos descartes

Conhecendo a profundidade na qual o efluente será descartado e a velocidade de queda de cada partícula, é possível avaliar o tempo de chegada das partículas ao assoalho oceânico simplesmente pela divisão da camada a ser percorrida e a velocidade de queda de cada classe de grão. De acordo com os parâmetros apresentados na Tabela 1, os tempos obtidos para cada descarte são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17: Tempos estimados para cada classe de sólido nos descartes previstos.

Classe	tempo (horas)			
	SOL_SEC1 - SOL_SEC2	SOL_SEC3	FLU_SEC3	SOL_SEC4 - SOL_SEC5
1	0,007	0,2	3,8	0,072
2	0,014	0,3	13,6	0,086
3	0,020	0,4	52,3	0,096
4	0,048	1,1	67,3	0,108
5	0,134	3,0	84,1	0,118
6	0,835	18,5	98,8	0,130
7	8,910	197,3	143,4	0,144
8	115,360	2554,4	291,3	0,159
9	1440,048	31886,8	706,3	0,179
10			1569,5	0,205
11				0,215

A representação gráfica dos tempos de queda estimados, para cada classe de grão com seu respectivo volume percentual, pode ser observada na Figura 10.

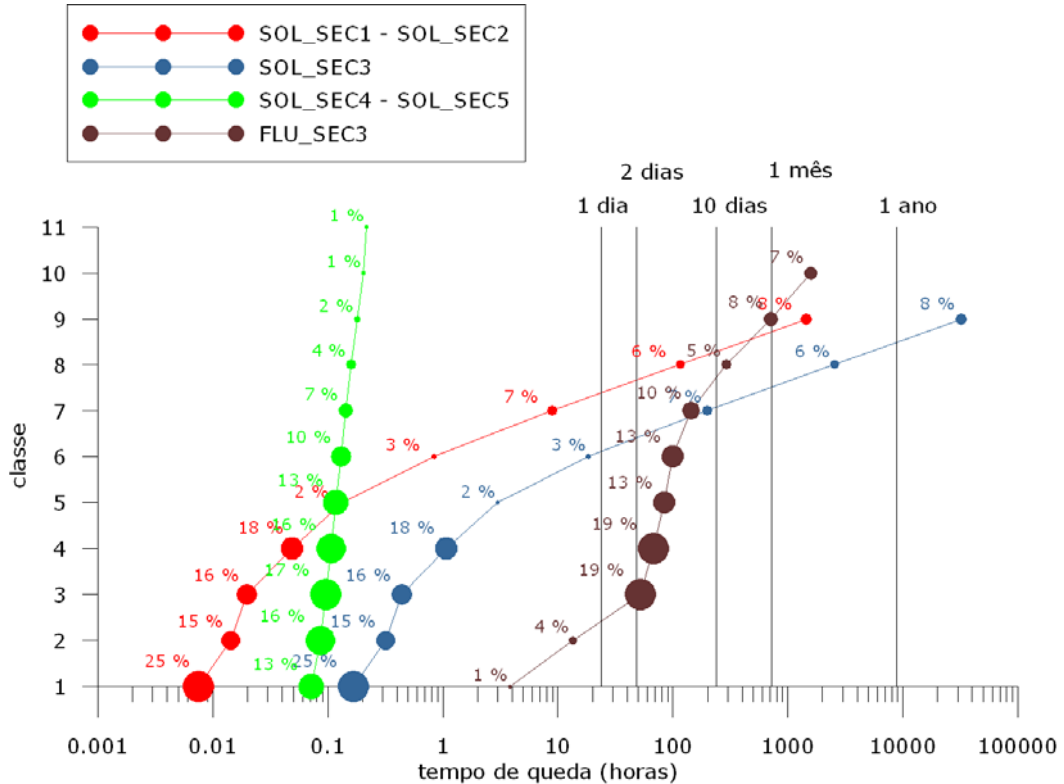


Figura 10: Tempo de queda das partículas de acordo com a classe granulométrica de cada tipo de descarte. Os círculos preenchidos representam a fração de volume que cada classe representa.

Nota-se nos descartes SOL_SEC1 e SOL_SEC2 que 86% do volume de sólidos depositam-se em menos de 10 h.

O comportamento da curva para o descarte SOL_SEC3 é igual aos descartes descritos acima, porém, pela maior distância entre o ponto de descarte e o assoalho marinho, as partículas terão um maior tempo de queda. Mesmo assim, 79% do volume de sólidos chegam ao fundo oceânico em menos de 24 horas (1 dia) após o lançamento.

Todas as partículas dos descartes SOL_SEC4 e SOL_SEC5 irão depositar-se com menos de 1 hora após o descarte do efluente ao mar, enquanto apenas 5% das partículas do descarte FLU_SEC3 depositam-se antes de 24 horas.

Quanto maior for o tempo de permanência dos grãos na coluna d'água, maior é a dispersão que as partículas sofrem em função da corrente. E quanto mais dispersa, maior é a área coberta pelas partículas e menores são as espessuras por elas formadas.

Como verificado, os componentes sólidos dos descartes SOL_SEC4 e SOL_SEC5 depositam-se com menos de 1 hora após o lançamento. Assim, esta análise será feita somente para os descartes SOL_SEC1, SOL_SEC2, SOL_SEC3 e FLU_SEC3 (Tabela 18).

Tabela 18: Distância horizontal percorrida por para cada classe de sólido dos descartes.

Classe	distância horizontal (km)		
	SOL_SEC1 e SOL_SEC2	SOL_SEC3	FLU_SEC3
1	0,004	0,09	2,01
2	0,008	0,17	7,12
3	0,010	0,23	27,43
4	0,025	0,56	35,27
5	0,070	1,56	44,09
6	0,438	9,70	51,79
7	4,672	103,44	75,19
8	60,487	1339,36	152,71
9	755,065	16719,30	370,33
10	-	-	822,96

IV.6. Descartes de Longa Duração

Ao considerarmos um perfil estacionário de correntes, espera-se que, a partir de um determinado momento durante a emissão do efluente, a concentração de sólidos em suspensão atinja um estado quase-estacionário. Assim, mesmo que o tempo de descarte seja superior ao tempo necessário para a pluma atingir este estado, os níveis de concentração não mudarão até o fim da emissão.

O método proposto por Brandsma e Smith (1999) foi utilizado para estimar o momento em que a pluma entra em condição estacionária ($t_{inicial}$) e o momento em que a pluma deixa essa condição (t_{final}):

$$t_{inicial} = \frac{X + 4\sigma}{u} \quad e \quad t_{final} = \frac{X - 4\sigma}{u} + t_{simulado}$$

onde $\sigma = \sigma_0 \left[1 + 4^{4/3} \frac{2}{3} \left(\frac{A_L \Delta t}{\sigma_0^{2/3}} \right) \right]$, X é a distância da fonte, u velocidade média da corrente

local, A_L um parâmetro de dissipação e σ_0 tamanho inicial da pluma, estimado na ordem de grandeza do tubo de descarte.

V. RESULTADOS

A seguir serão apresentadas as pilhas de deposição no assoalho marinho e plumas de sólidos em suspensão na coluna d'água estimadas pelas simulações realizadas.

As pilhas de deposição serão apresentadas por descarte e integradas, visando considerar o efeito conjunto dos descartes.

Por ocorrerem de forma sequencial e possuírem uma curta expectativa de permanência na coluna d'água, não será apresentada integração para as plumas de sólidos em suspensão.

As plumas são representadas aqui por perfis radiais ao poço (situado no ponto [0,0]), extraídos de forma a identificar a região de maior concentração de sólidos em suspensão.

De acordo com as análises realizadas em função da velocidade de queda e estimativa da distância percorrida por cada classe granulométrica (conforme apresentado na Figura 10 e Tabela 18), os tempos escolhidos para cada simulação foram:

10 h – descartes SOL_SEC1 e SOL_SEC2;

24 h – descarte SOL_SEC3;

96 h – descarte FLU_SEC3;

2 h – descartes SOL_SEC4 e SOL_SEC5.

V.1. Pilhas de Deposição – GRADE 1

As pilhas formadas em cada descarte podem ser observadas da Figura 11 (SOL_SEC1) à Figura 15 (SOL_SEC_5) e a integração dos resultados na Figura 16. Pelo pouco volume de sólidos e o longo tempo de queda, o descarte FLU_SEC3 não é capaz de formar espessuras acima de 1 mm mesmo após 96 h (4 dias) do fim do descarte.

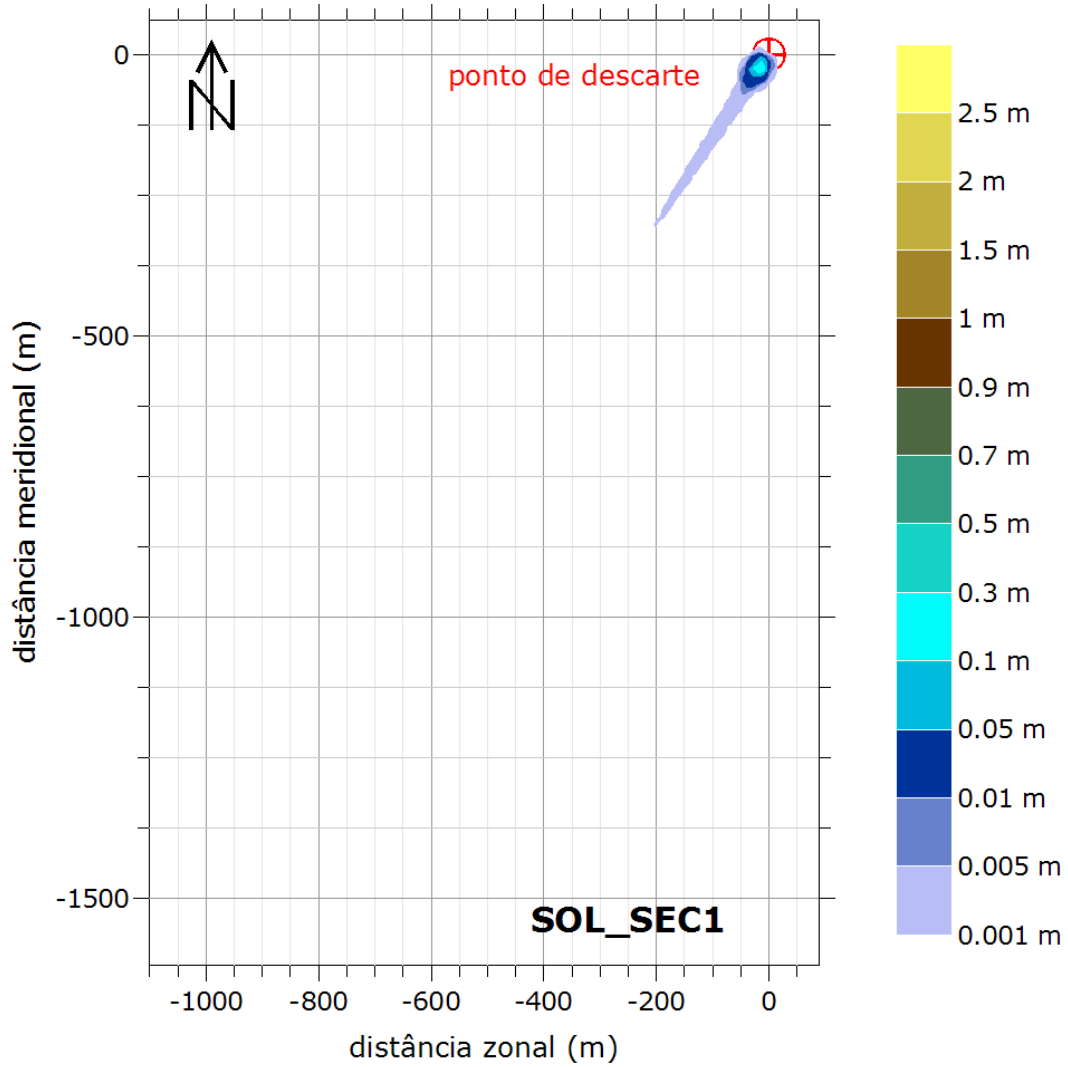


Figura 11: Espessura de deposição (m) encontrada para o descarte da SOL_SEC1, com a grade 1.

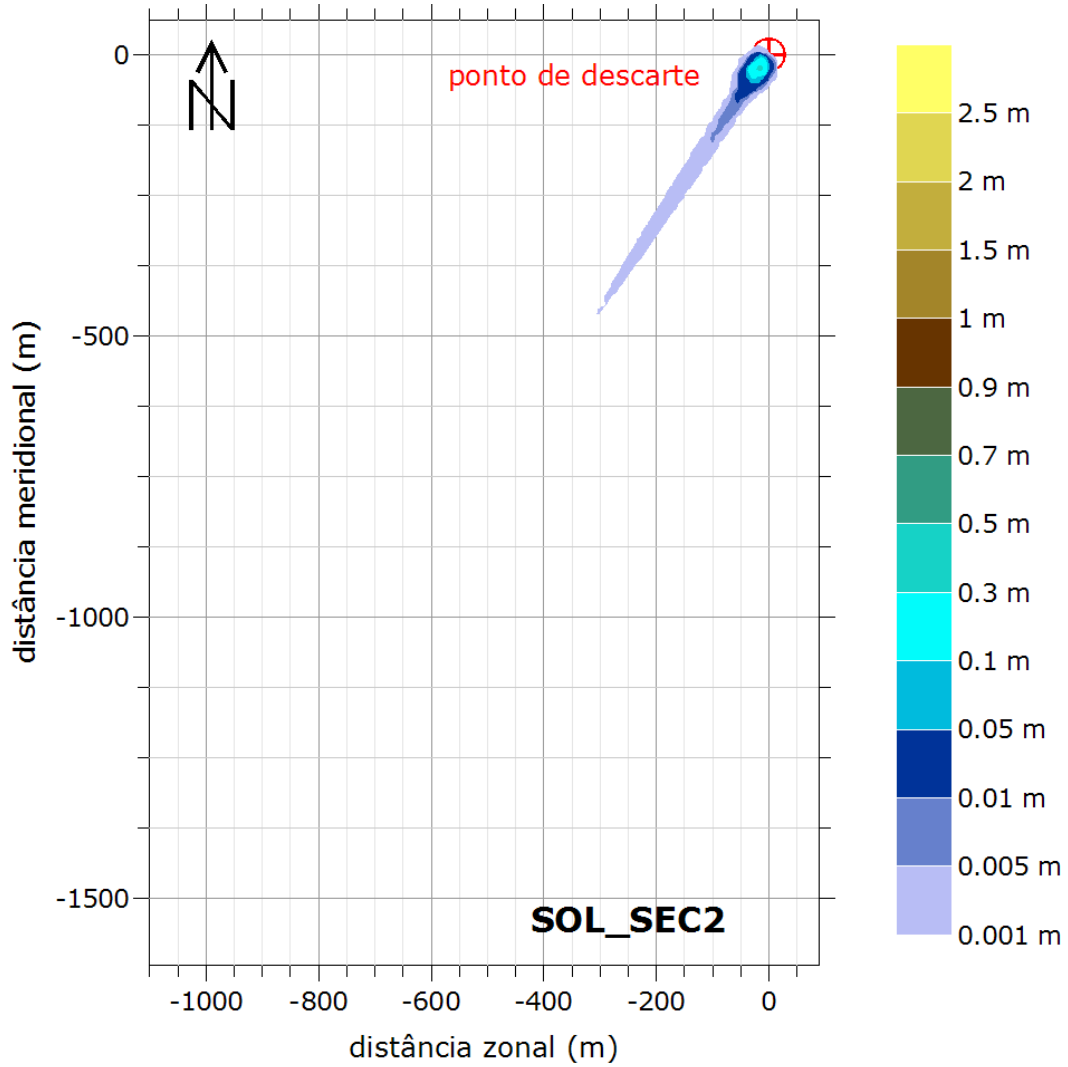


Figura 12: Espessura de deposição (m) encontrada para o descarte da SOL_SEC2, com a grade 1.

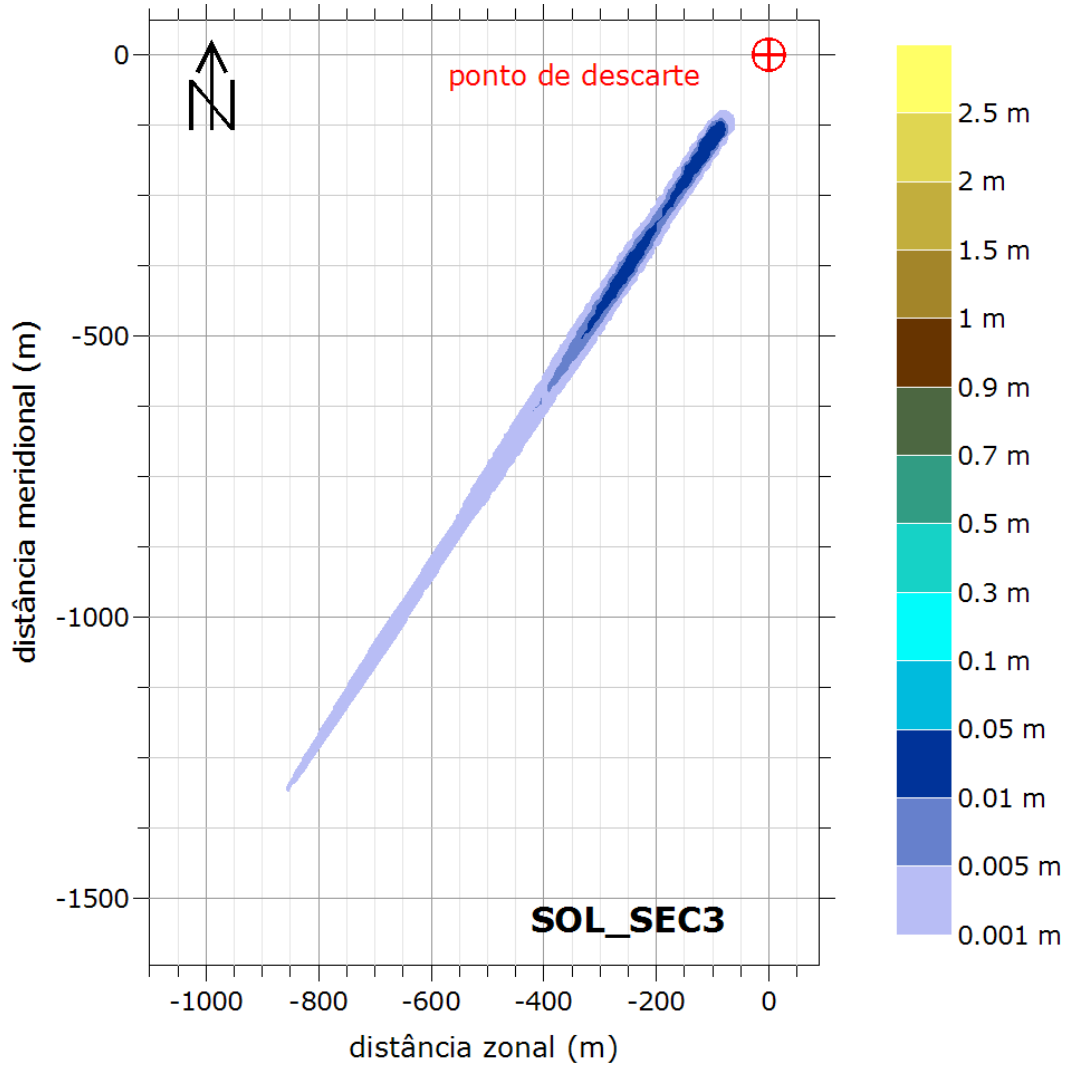


Figura 13: Espessura de deposição (m) encontrada para o descarte da SOL_SEC3, com a grade 1.

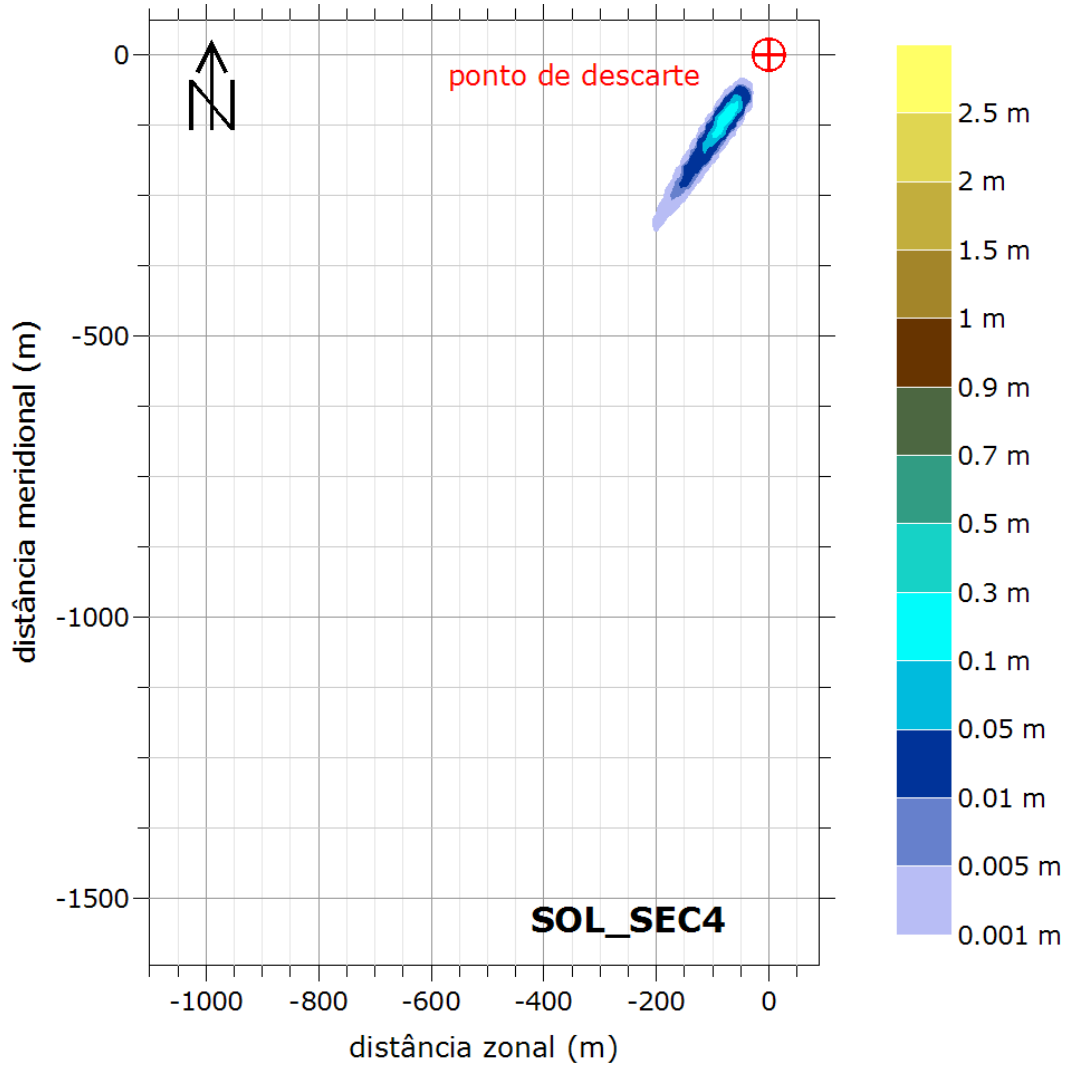


Figura 14: Espessura de deposição (m) encontrada para o descarte da SOL_SEC4, com a grade 1.

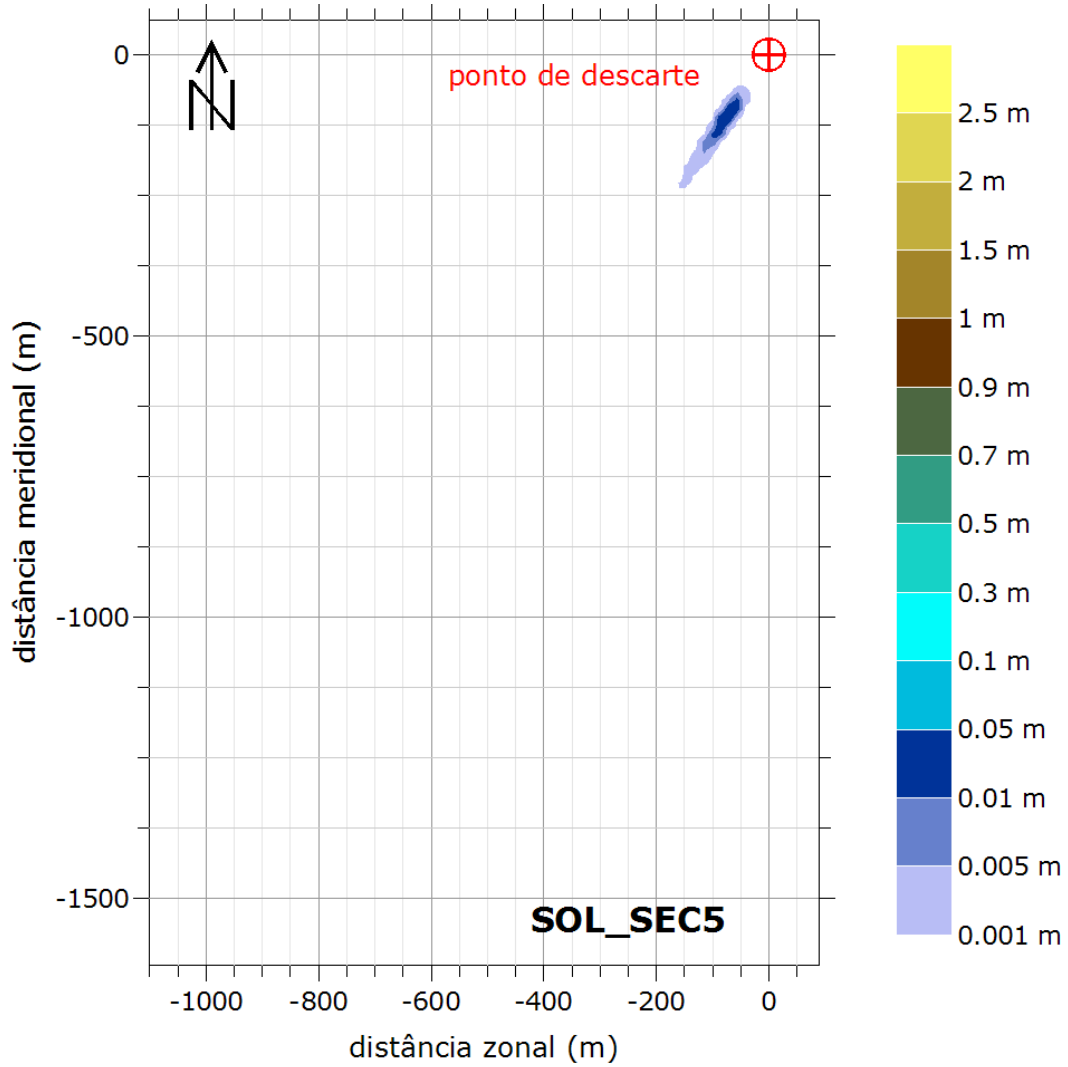


Figura 15: Espessura de deposição (m) encontrada para o descarte da SOL_SEC5, com a grade 1.

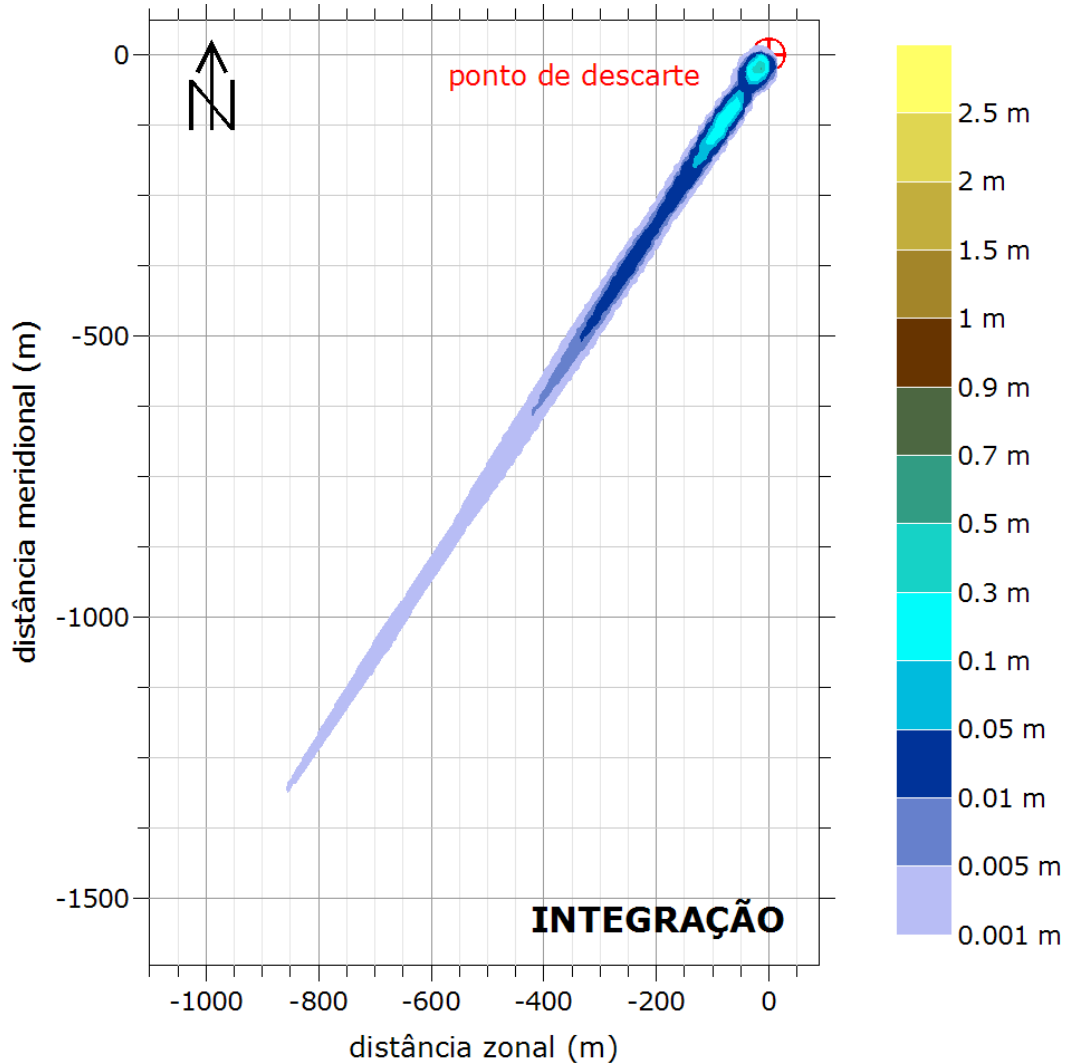


Figura 16: Pilha resultante da integração de todos os descartes realizados com a grade 1.

Um resumo dos resultados obtidos para a deposição de sólidos é apresentado na Tabela 19.

Tabela 19: Resumo dos resultados obtidos para as pilhas de deposição.

simulação	esp. máxima (m)	área (m2)
SOL_SEC1	0,170	10746,95
SOL_SEC2	0,371	19017,76
SOL_SEC3	0,027	54682,36
FLU_SEC3	-	-
SOL_SEC4	0,170	15385,28
SOL_SEC5	0,019	7596,55
INTEGRAÇÃO TOTAL	0,541	67566,05

Observa-se que o descarte responsável pela maior espessura é o SOL_SEC2 (0,37 m). O descarte SOL_SEC3 forma a maior área (54682,36 m²) e abrangendo 81% da cobertura obtida pela integração de todas as pilhas.

V.2. Pilha de Deposição – GRADE 2

As maiores espessuras podem ser subestimadas pela utilização de grandes espaçamentos de grade. De forma a evitar este efeito, um novo grupo de simulações foi realizado, usando-se desta vez uma grade cuja resolução espacial é superior à da *Grade 1*. Espera-se, desta forma, uma correta estimativa das espessuras máximas formadas nestes descartes.

As pilhas de deposição dos descartes que foram obtidas com a grade 2 são apresentadas da Figura 17 (SOL_SEC1) a Figura 21 (SOL_SEC5).

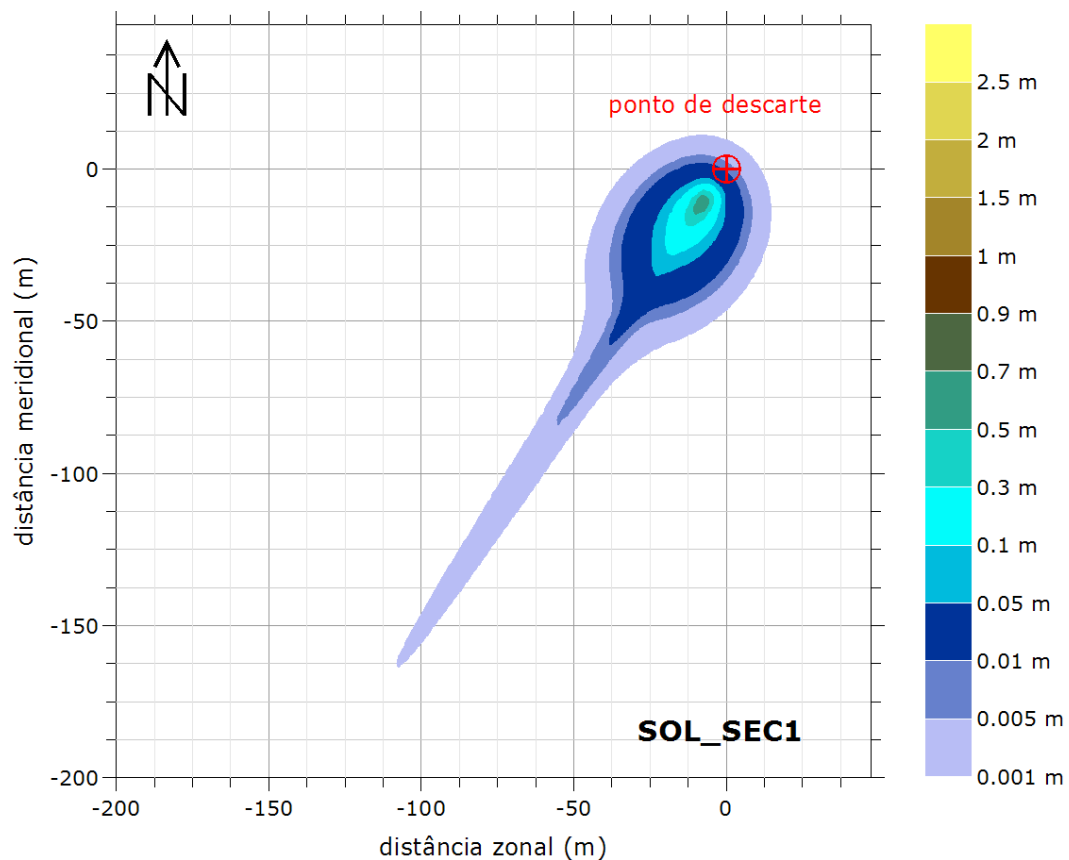


Figura 17: Espessura de deposição (m) encontrada para o descarte da SOL_SEC1, com a grade 2.

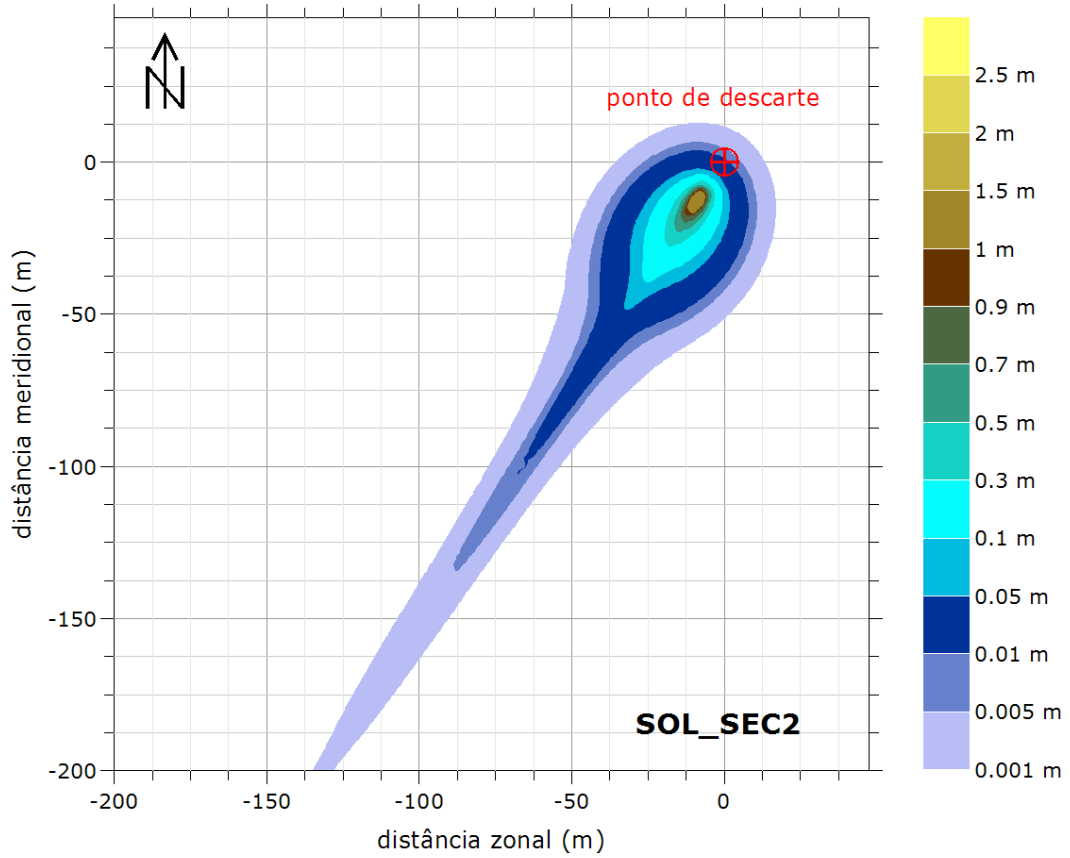


Figura 18: Espessura de deposição (m) encontrada para o descarte da SOL_SEC2, com a grade 2.

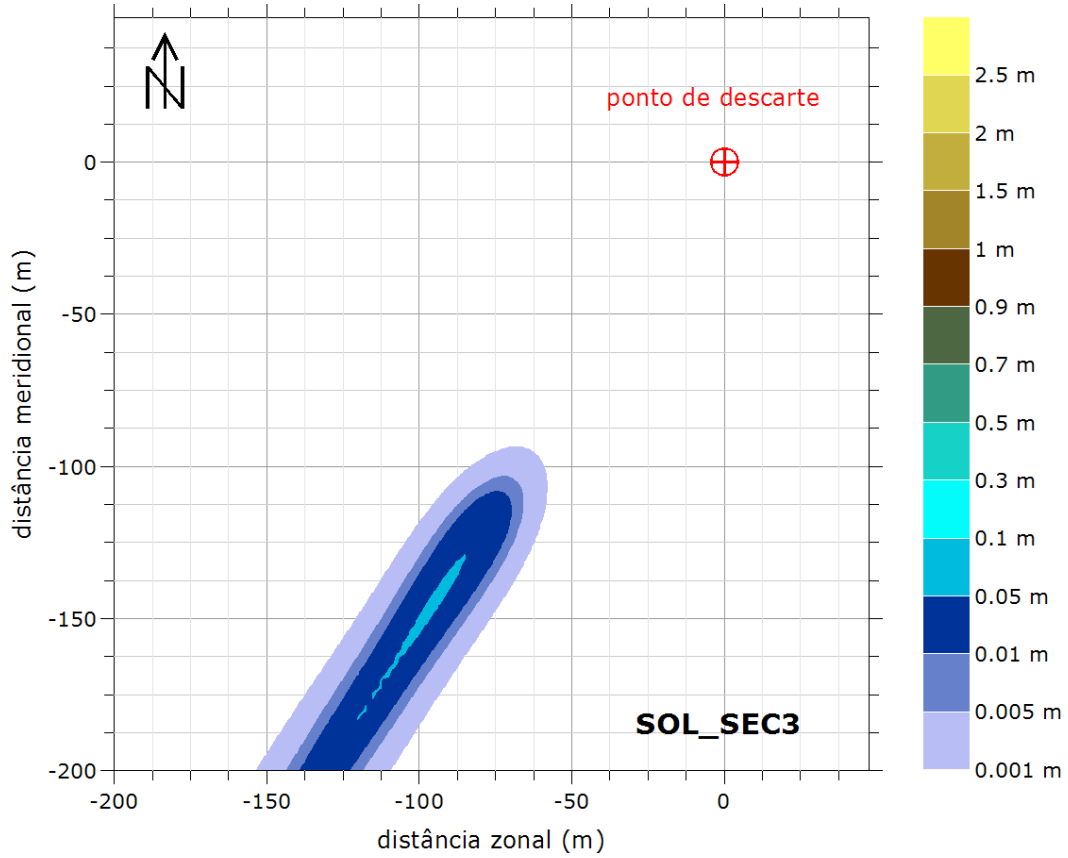


Figura 19: Espessura de deposição (m) encontrada para o descarte da SOL_SEC3 com a grade 2.

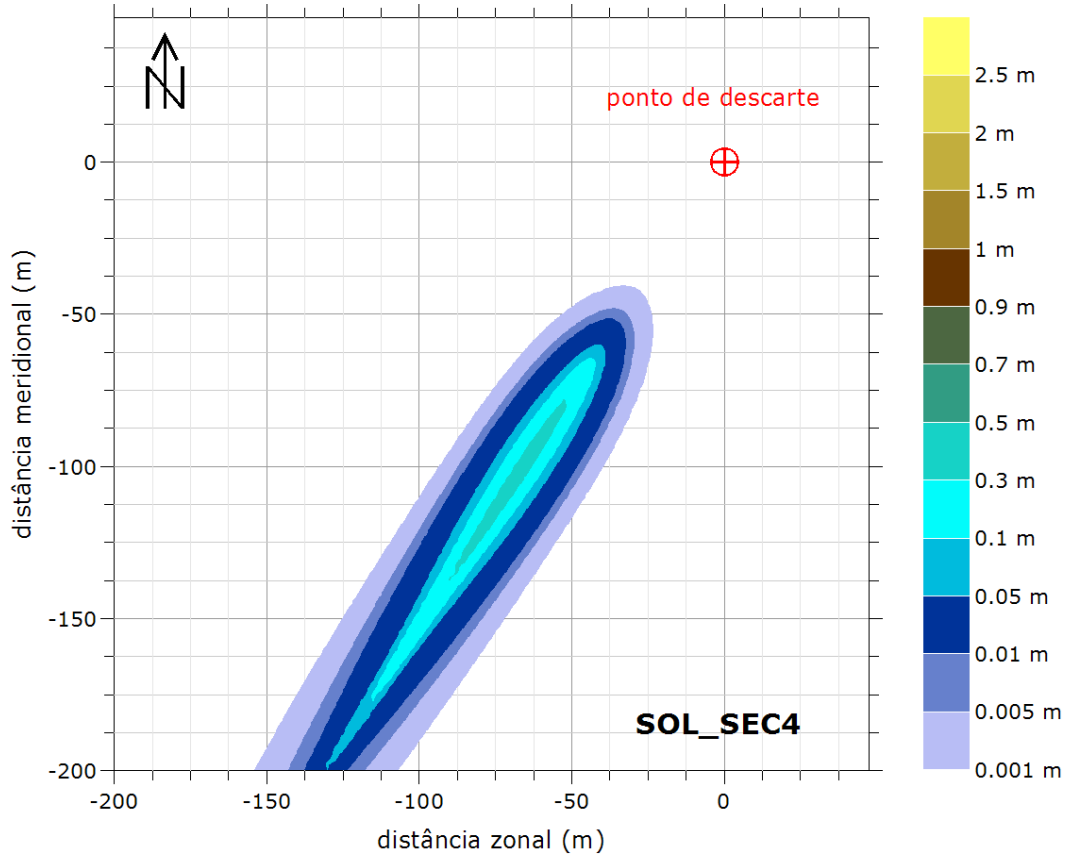


Figura 20: Espessura de deposição (m) encontrada para o descarte da SOL_SEC4 com a grade 2.

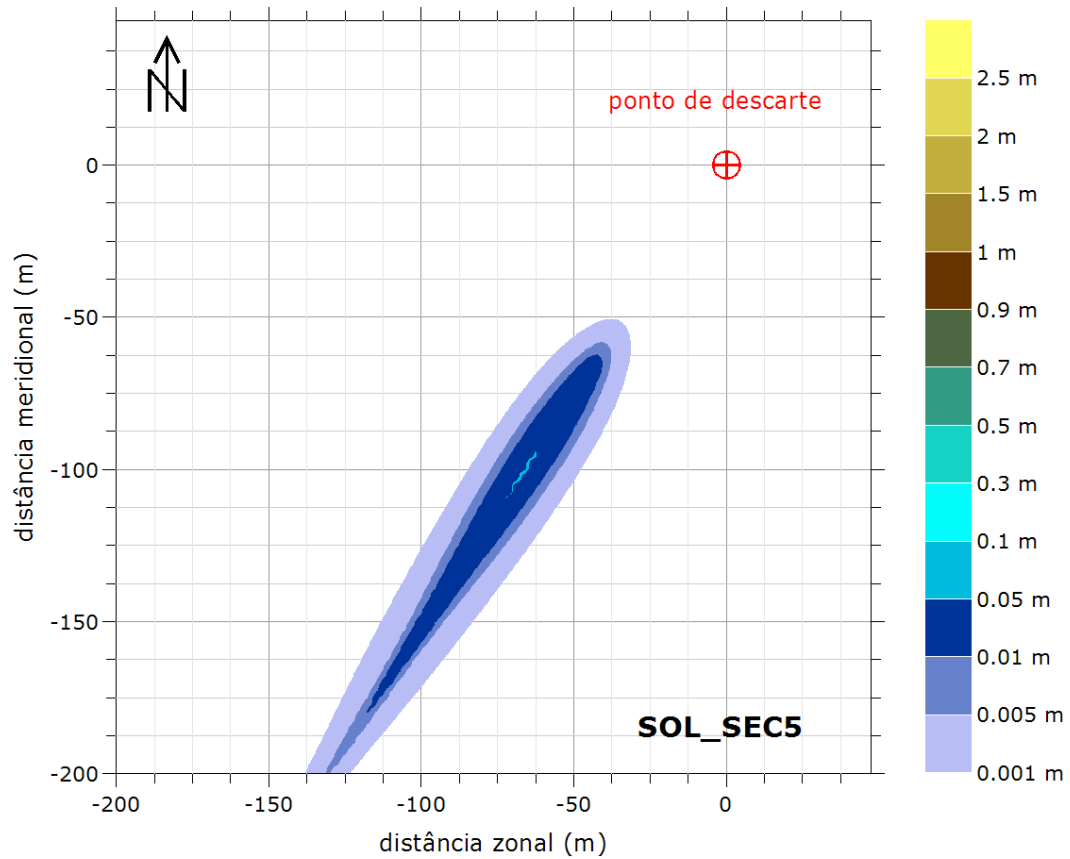


Figura 21: Espessura de deposição (m) encontrada para o descarte da SOL_SEC5 com a grade 2.

A integração das pilhas de deposição obtidas com a grade 2 é apresentada na Figura 22. A espessura máxima alcançada é de aproximadamente 2,03 m a 10 m de distância da fonte.

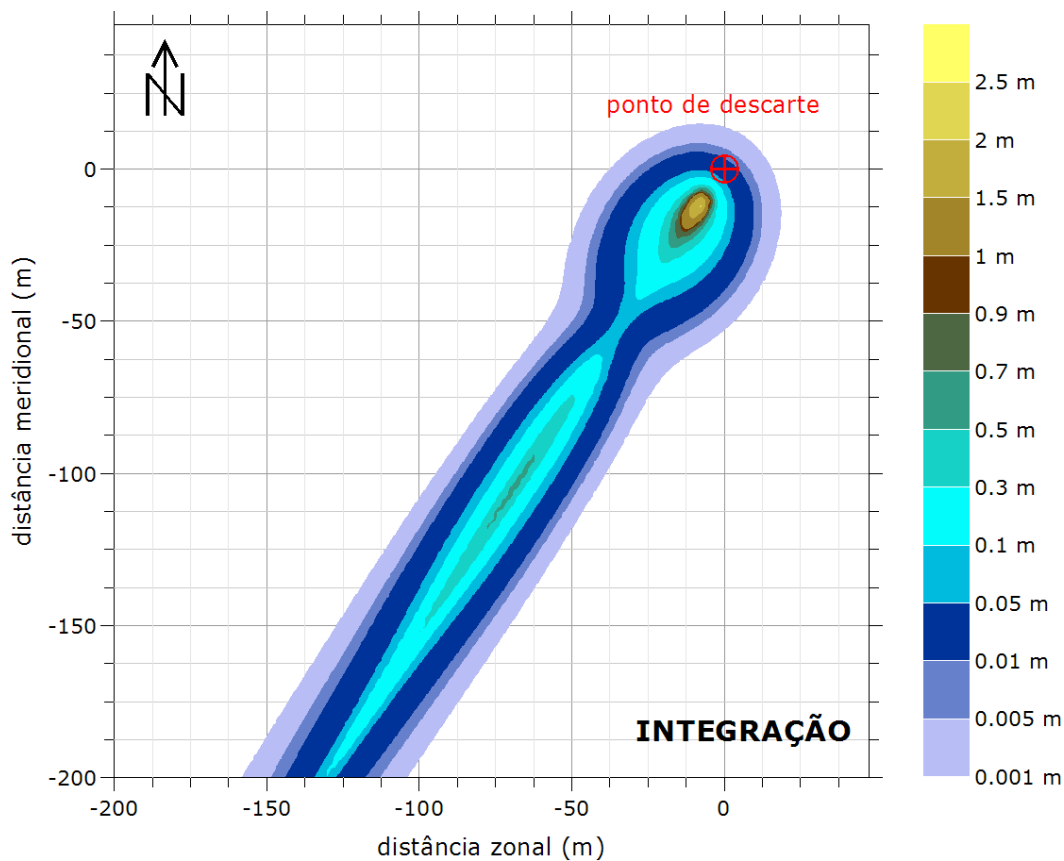


Figura 22: Pilha resultante da integração de todos os descartes realizados com a grade 2.

As espessuras máximas encontradas com a grade 2, para cada seção, são apresentadas na Tabela 20. Conforme esperado, a maior contribuição é devida ao descarte da seção 2.

Tabela 20: Espessuras máximas obtidas com a grade 2.

simulação	esp. máxima (m)
SOL_SEC1	0,698
SOL_SEC2	1,379
SOL_SEC3	0,062
FLU_SEC3	-
SOL_SEC4	0,493
SOL_SEC5	0,054
INTEGRAÇÃO TOTAL	2,038

V.3. Plumas de Sólidos em Suspensão (SEM RISER)

Os resultados das plumas de sólidos em suspensão serão apresentados apenas individualmente uma vez que o impacto por elas causado não é cumulativo.

As plumas são representadas aqui por perfis radiais ao poço (situado no ponto [0,0]) extraídos de forma a identificar a região de maior concentração de sólidos em suspensão.

O posicionamento das radiais para o descarte da seção 1 pode ser observado na Figura 23, enquanto o resultado de concentração de sólidos obtido é apresentado na Figura 24. Pode-se observar que a pluma a 10 m de distância da fonte ocupa os últimos 20 m da coluna d'água. Conforme afasta-se da fonte, a pluma achata-se verticalmente e expande-se na horizontal.

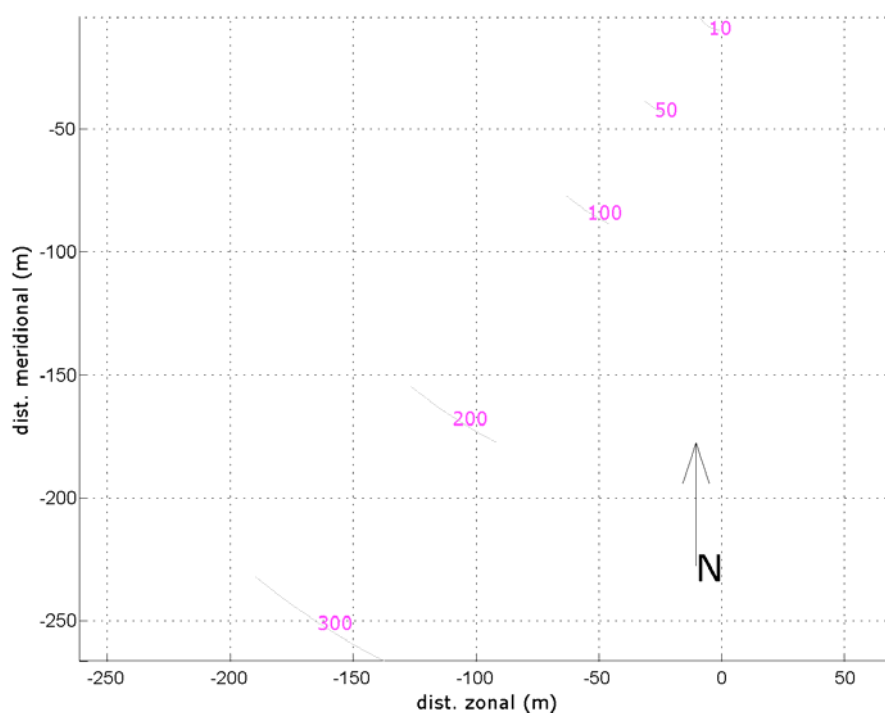


Figura 23: Posicionamento das radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte da SOL_SEC1.

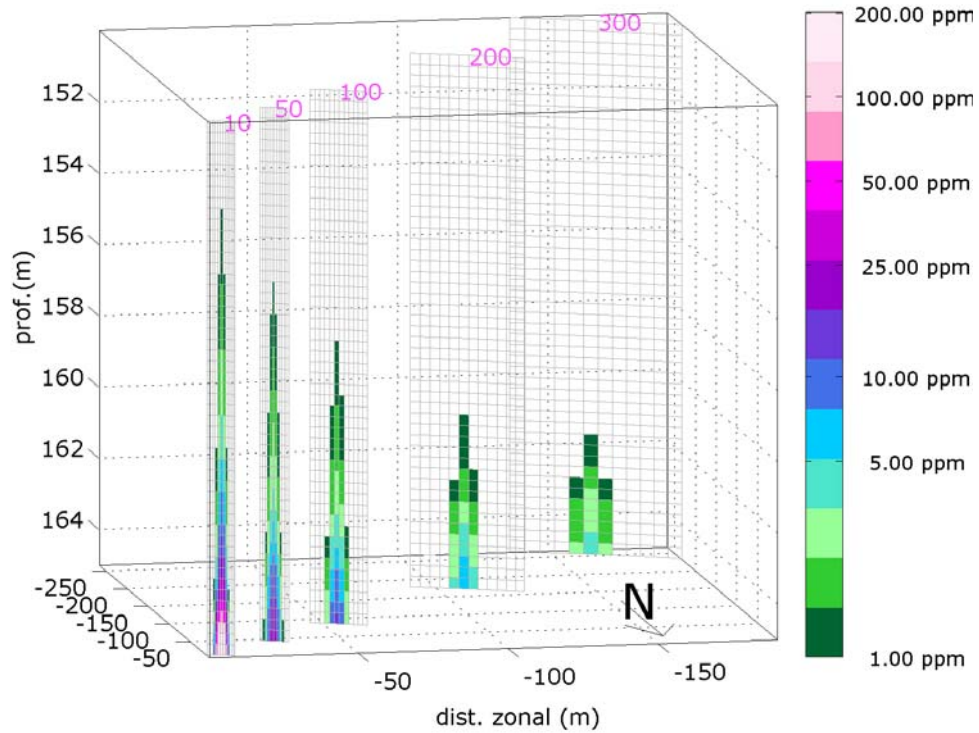


Figura 24: Perfis radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte SOL_SEC1.

As radiais de concentração do descarte de cascalho e fluido aderido na seção 2 e os perfis extraídos são apresentados na Figura 25 e na Figura 26, respectivamente.

A pluma decorrente deste descarte apresenta uma ocupação menor na coluna água em relação ao descarte anterior, no entanto os valores de concentração máxima extraídas nas radiais são ligeiramente superiores, e a pluma alcança os 300 m da fonte ainda com concentrações acima de 5 ppm.

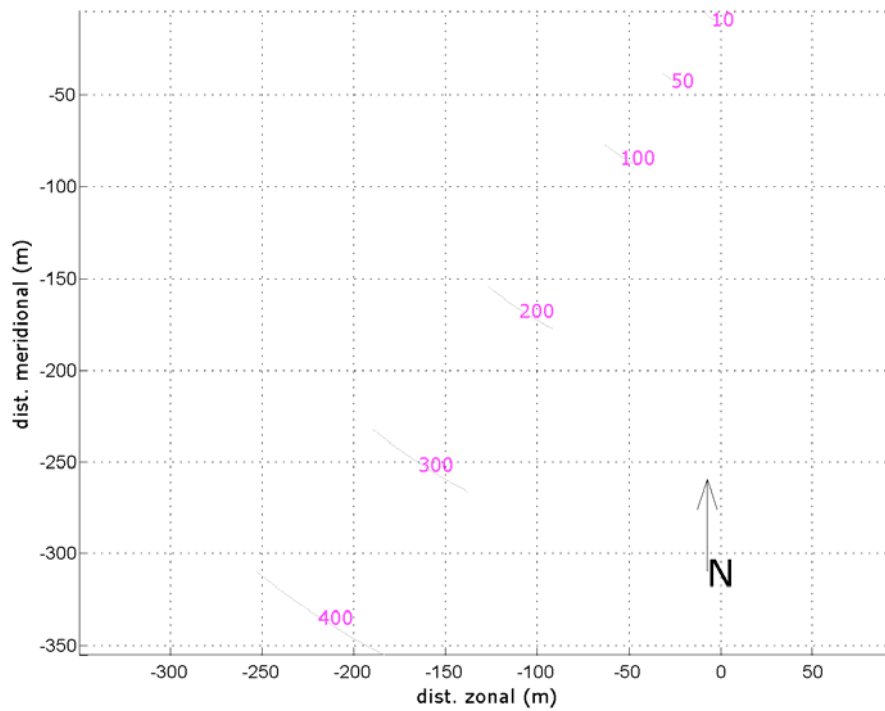


Figura 25: Posicionamento das radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte SOL_SEC2.

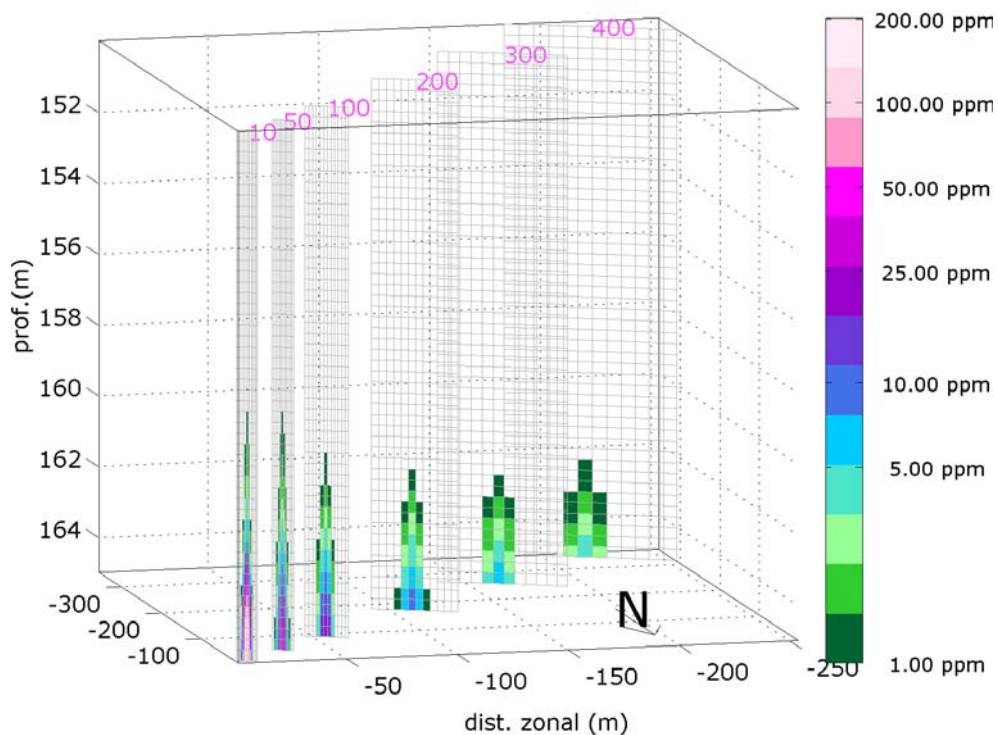


Figura 26: Perfis radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte SOL_SEC2.

V.4. Plumas de Sólidos em Suspensão (COM RISER)

A disposição das radiais escolhidas para estudar o descarte da seção 3 é apresentado na Figura 27 enquanto os perfis de concentração nelas obtidos são apresentados na Figura 28. A 10 m de distância da fonte, a pluma ocupa a coluna d'água desde a superfície até os 140 m de profundidade. Sua dimensão varia pouco, diminuindo apenas os níveis de concentração com o afastamento da fonte. Com 400 m de distância da fonte a pluma encontra-se toda abaixo de 5 ppm.

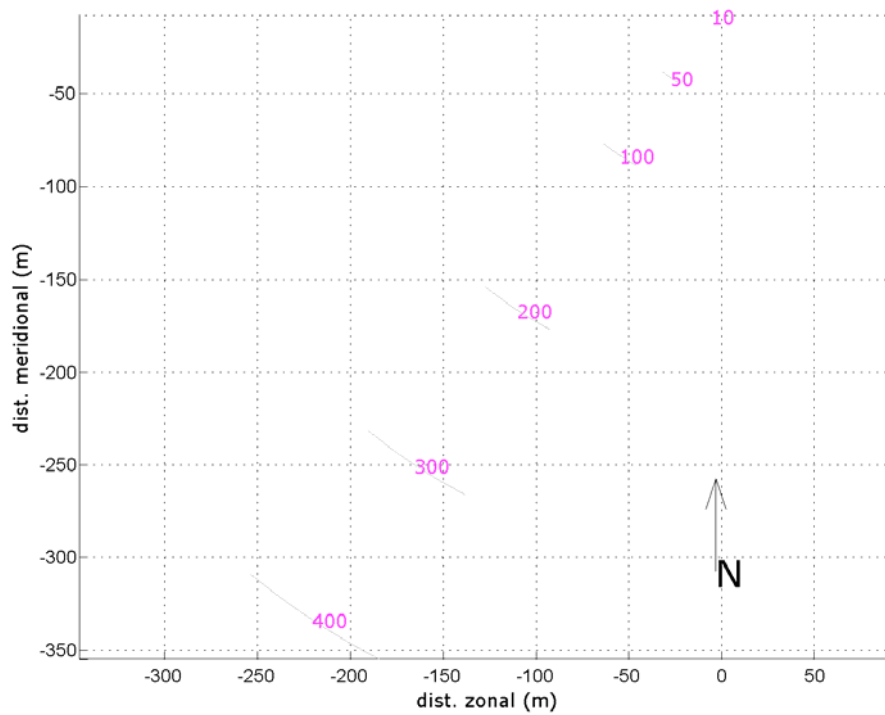


Figura 27: Posicionamento das radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte SOL_SEC3.

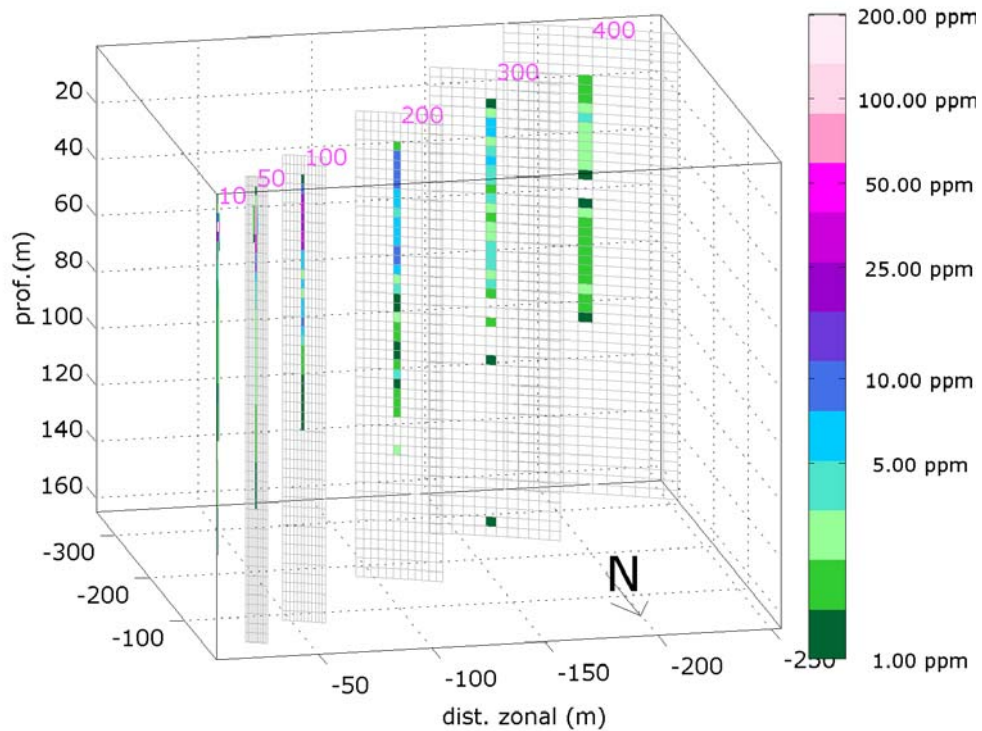


Figura 28: Perfis radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte SOL_SEC3.

A localização das radiais do descarte FLU_SEC3 encontra-se na Figura 29 (de 10 m a 500 m), Figura 30 (de 1000 m a 3000 m) e Figura 31 (de 3500 m a 7500 m), Os respectivos perfis encontram-se na Figura 32, Figura 33 e Figura 34.

Nota-se que a pluma restringe-se aos primeiros 40 m da coluna d'água em toda sua extensão. Este é o descarte que apresenta as maiores concentrações próximo a fonte e o que atinge as maiores distâncias acima do limiar (7000 m).

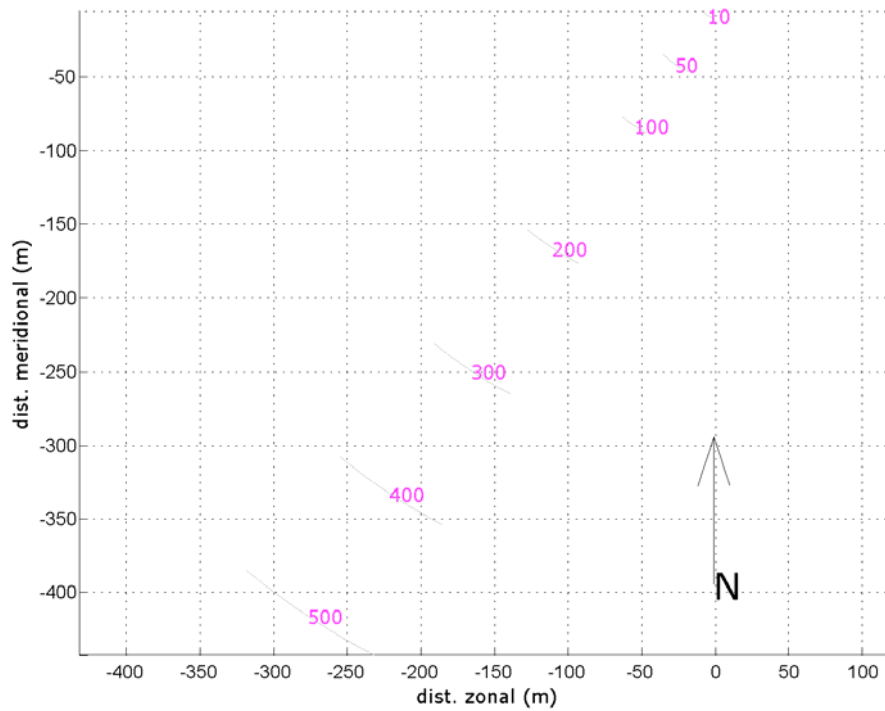


Figura 29: Posicionamento das radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte SOL_SEC3 até a radial de 500m.

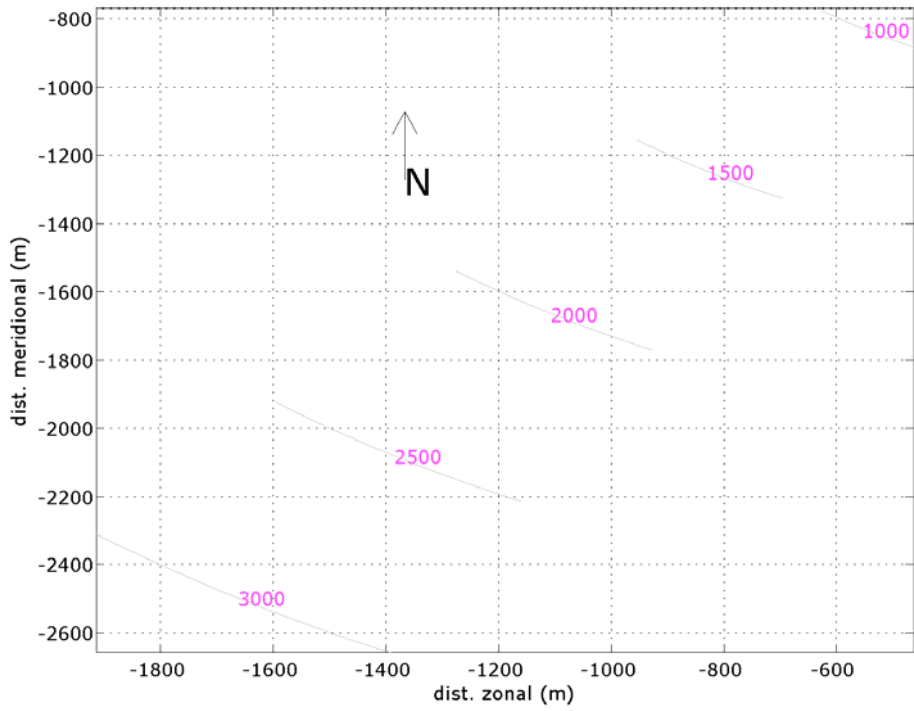


Figura 30: Posicionamento das radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte SOL_SEC3 da radial de 1000 m até a radial de 3000 m.

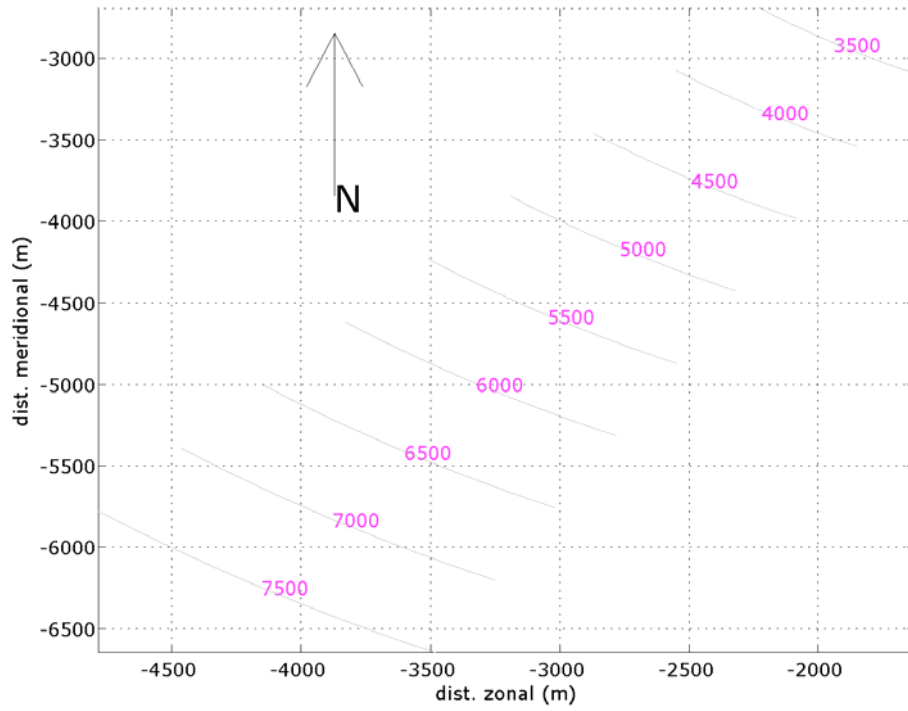


Figura 31: Posicionamento das radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte SOL_SEC3 da radial de 3500 m até a radial de 7500 m.

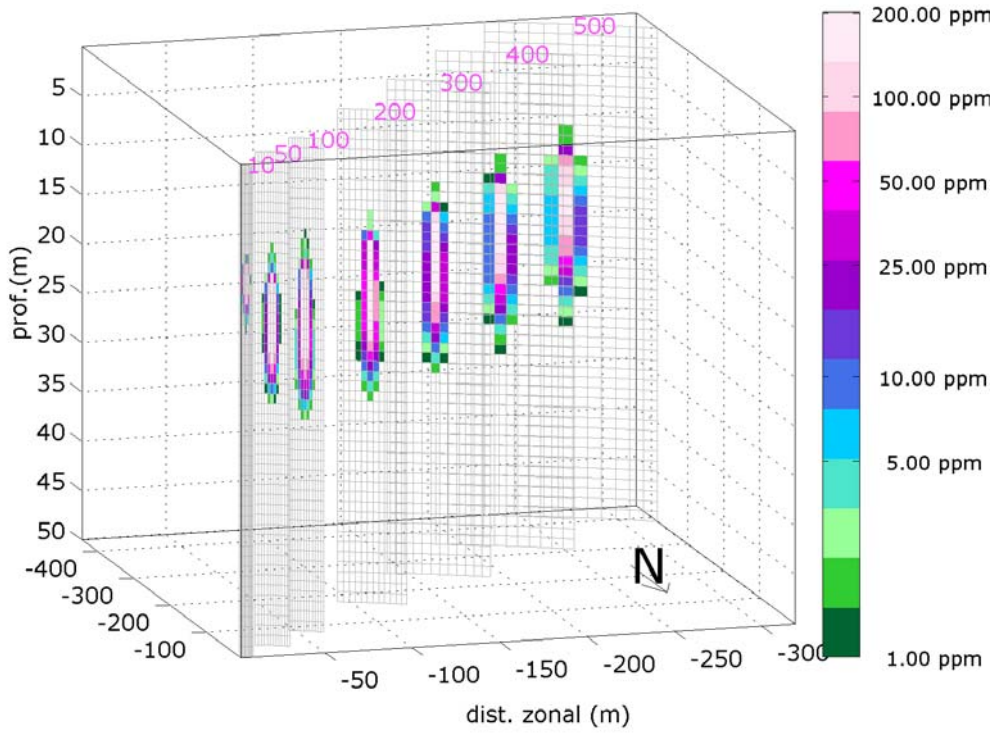


Figura 32: Perfis radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte FLU_SEC3, até a radial de 500m.

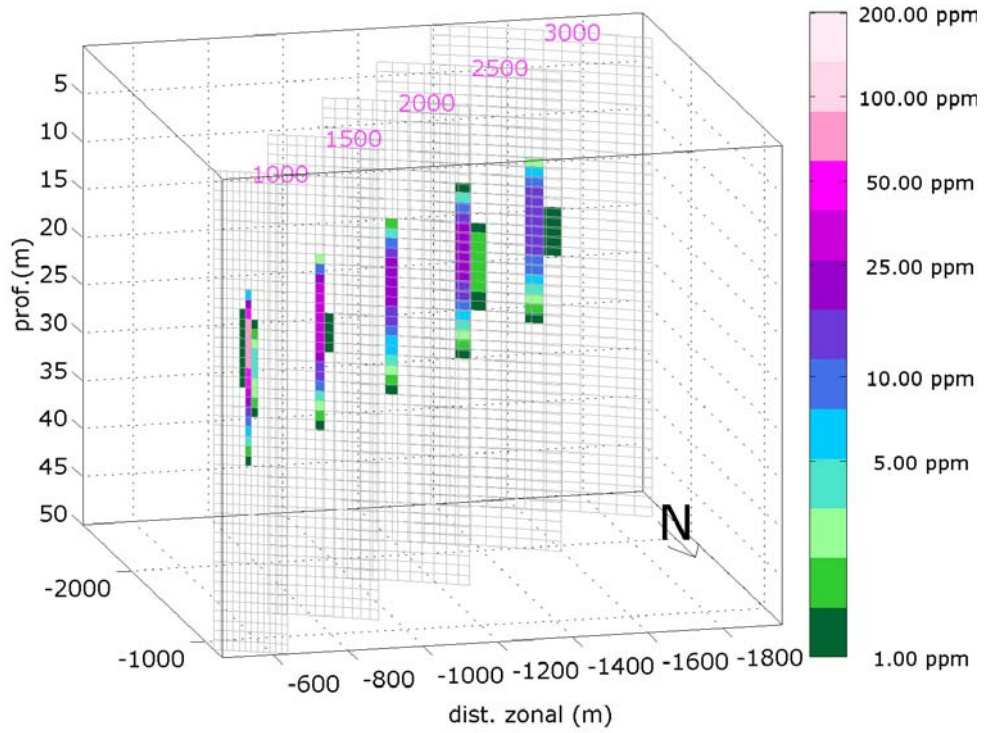


Figura 33: Perfis radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte FLU_SEC3, da radial de 1000 m até a radial de 3000m.

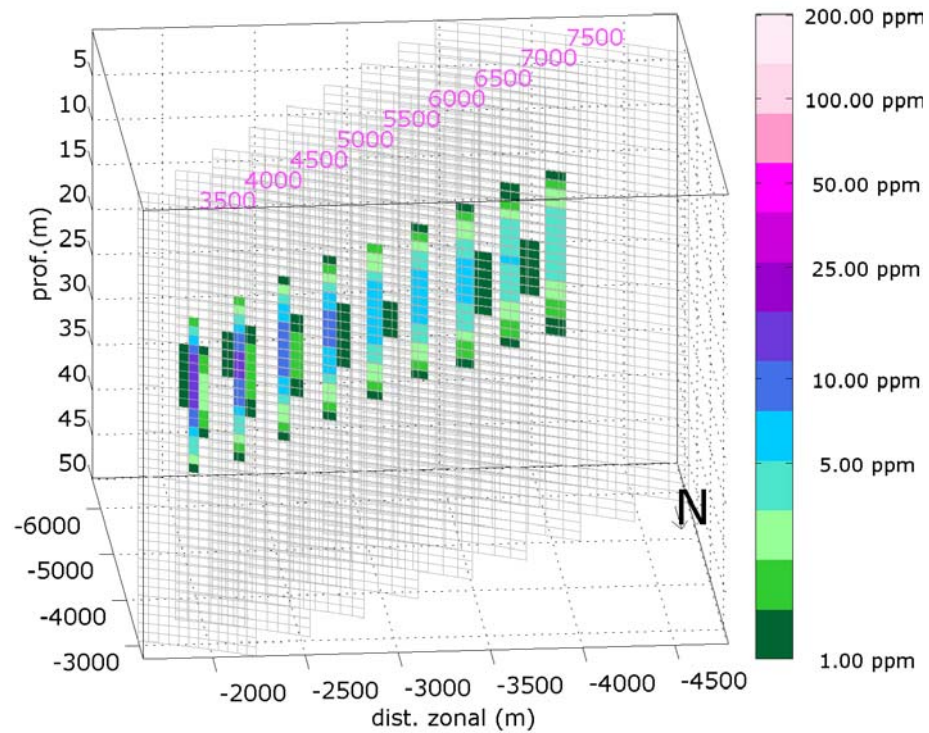


Figura 34: Perfis radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte FLU_SEC3, da radial de 3500 m até a radial de 7500m.

As radiais do descarte da seção 4 podem ser observadas na Figura 35 e os respectivos perfis de concentração, na Figura 36. A pluma apresenta altos valores de concentração próximo a fonte que decaem rapidamente com o afastamento e atingindo o limiar de monitoramento já a 100 m.

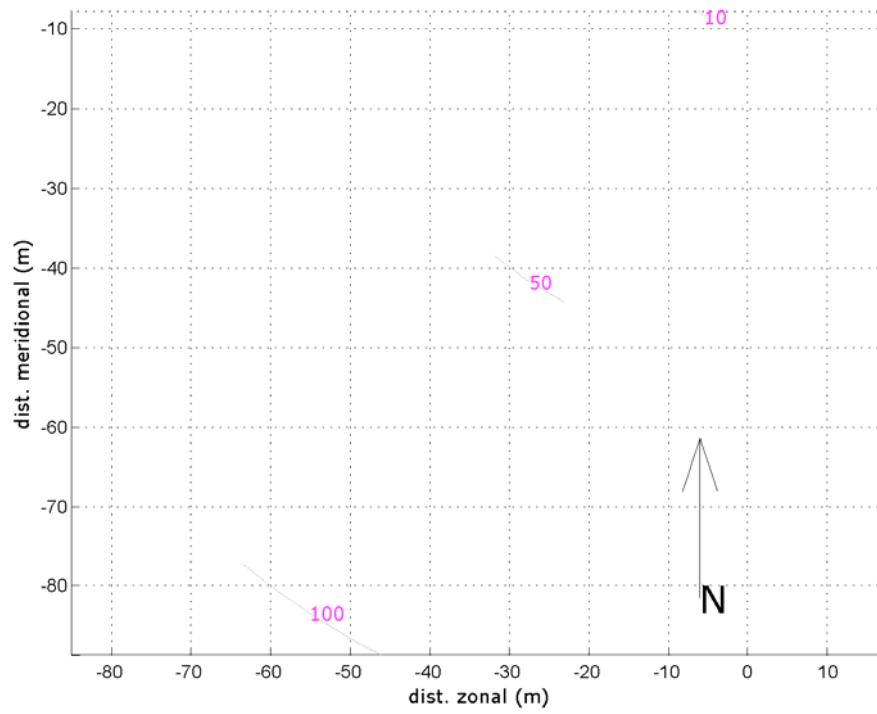


Figura 35: Posicionamento das radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte da SOL_SEC4.

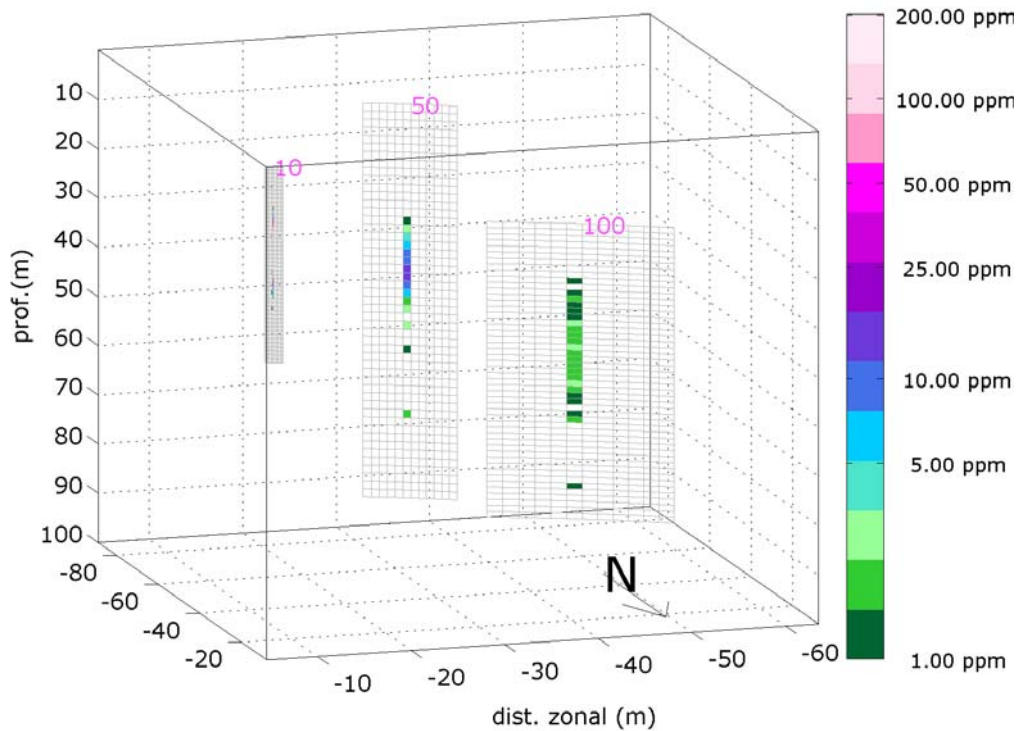


Figura 36: Perfis radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte da SOL_SEC4.

As radiais extraídas no descarte da seção 5 podem ser observadas na Figura 37 e os perfis de concentração correspondentes na Figura 38. Neste descarte, a pluma apresenta as maiores concentrações dentre os descartes de cascalho e fluido aderido na região próxima a fonte (882 ppm). No entanto, a 200 m, os valores encontrados já são inferiores a 2 ppm.

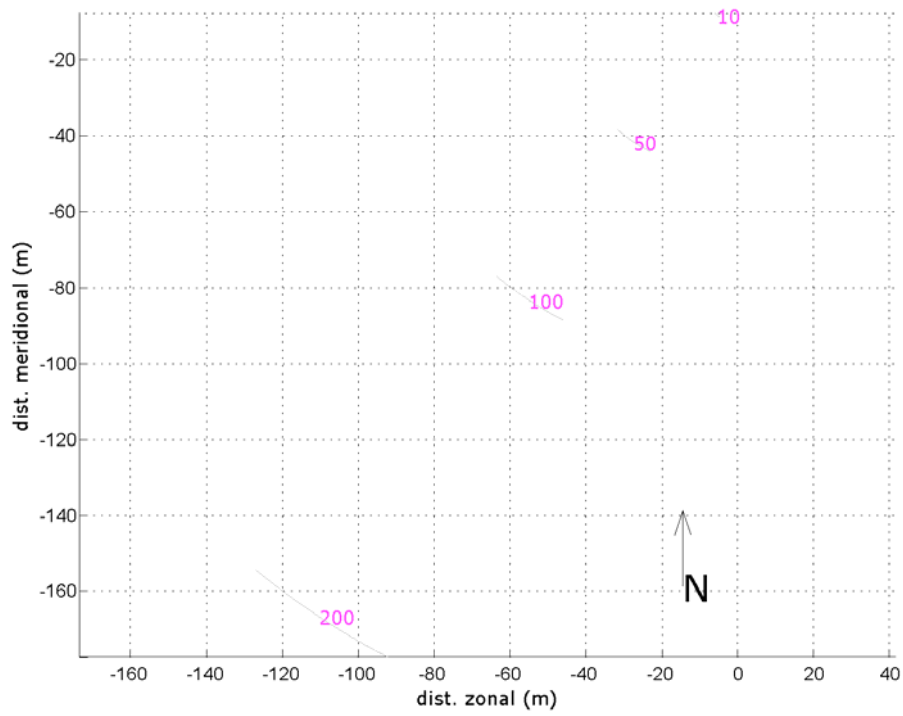


Figura 37: Posicionamento da radial de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte da SOL_SEC5.

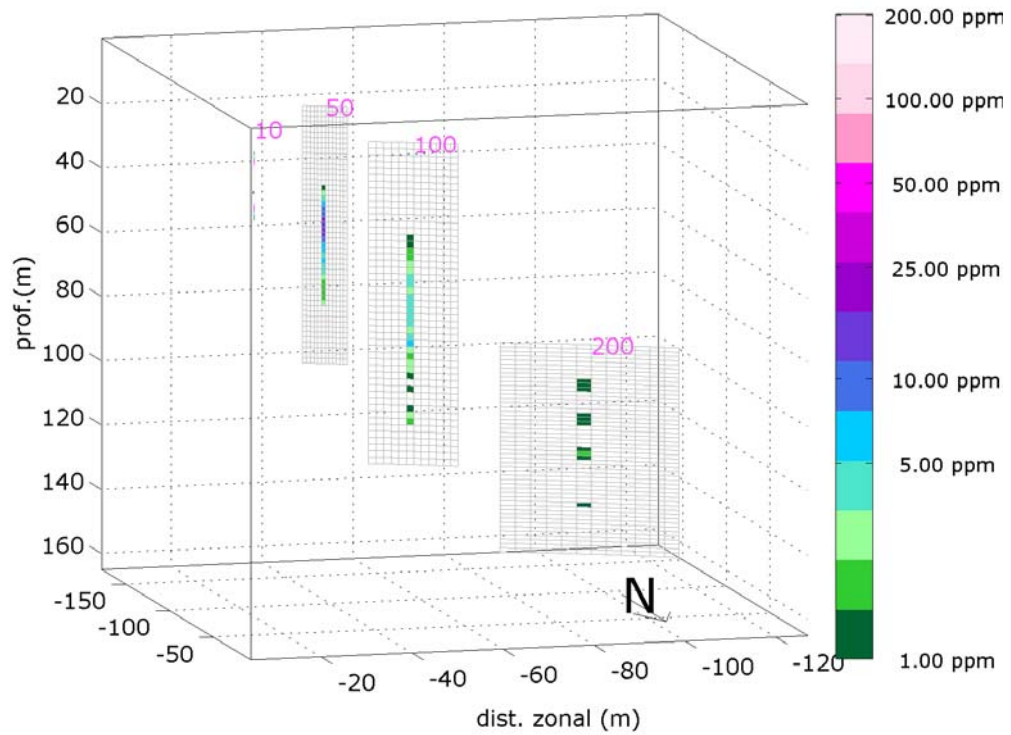


Figura 38: Perfil radial de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte da SOL_SEC5.

As concentrações máximas obtidas em cada radial para todas as plumas formadas são apresentadas na Tabela 21 e na Tabela 22.

Tabela 21: Concentração máxima (ppm) de sólidos em suspensão em cada radial para os descartes de cascalho e fluido aderido.

dist. da fonte (m)	SOL_SEC1	SOL_SEC2	SOL_SEC3	SOL_SEC4	SOL_SEC5
10	315.09	364.94	389.60	292.90	881.98
50	22.09	36.62	79.06	13.73	14.94
100	12.55	20.59	33.51	3.29	5.22
200	6.27	10.36	10.60		1.65
300	4.00	6.46	5.35		
400		4.34	3.73		

Tabela 22: Concentração máxima (ppm) de sólidos em suspensão em cada radial para o descarte de fluido excedente.

distância da fonte (m)	FLU_SEC3
10	2940.67
50	474.90
100	347.39
200	262.01
300	207.03
400	168.25
500	140.34
1000	68.86
1500	37.33
2000	22.59
2500	21.84
3000	16.02
3500	14.98
4000	12.19
4500	10.11
5000	8.46
5500	7.16
6000	6.03
6500	5.95
7000	5.15
7500	4.47

O descarte em que a pluma alcança a maior distância da fonte com o maior valor de concentração máxima corresponde ao FLU_SEC3.

Um parâmetro importante a se conhecer é o tempo após o término do vazamento em que a concentração volta a diminuir. Utilizando as equações para o cálculo do início e fim da condição estacionária e conhecendo agora a maior distância de interesse, pode-se calcular que:

$$T_{\text{início}} = \frac{7500 + 19,58}{0,52} \sim 4,01\text{h}$$

$$T_{\text{fim}} = \frac{7500 - 19,58}{0,52} + T_{\text{simulado}} \sim T_{\text{simulado}} + 3,9 \text{ h}$$

Ou seja, a pluma atinge sua distância máxima acima do limiar com 4,01 h após o início do descarte. Com aproximadamente 3,9 h após término do descarte a concentração começa a decrescer.

VI. CONCLUSÕES

Seis simulações numéricas foram realizadas para determinar o comportamento do material a ser descartado no mar pela atividade de perfuração do poço Honolulu no bloco BM-C-43, na Bacia de Campos.

Foram feitas estimativas tanto para o número de sólidos em suspensão na coluna d'água, quanto para o acúmulo destes no leito marinho. Os acúmulos no leito marinho foram calculados em duas diferentes grades, de forma a melhor avaliar tanto a região de maior espessura (grade 2) quanto a área total da deposição (grade 1).

O cenário ambiental utilizado nas modelagens procurou reproduzir as principais características oceanográficas da região do bloco. O acúmulo do material tanto das seções sem *riser* quanto das seções com *riser* apresentaram sentido sudoeste, concordando com a hidrodinâmica descrita para a região.

A espessura máxima obtida, calculada na grade 2, foi de 2,04 m e a área coberta pela pilha, estimada com a grade 1, abrange 67566,05 m². O descarte que mais contribuiu para a espessura resultante foi o SOL_SEC2 e, para a área, o SOL_SEC3.

Quanto às plumas de sólidos em suspensão, a maior distância foi estimada para o descarte FLU_SEC3. A pluma manteve concentrações acima de 5 ppm até cerca de 7500 m da fonte. Verificou-se que são necessários aproximadamente 3,9 h, após o término do descarte para que a concentração a esta distância da fonte volte a diminuir.

VII. BIBLIOGRAFIA

Brandsma, M., & Smith, J., 1999. Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model Report and User Guide. *ExxonMobil Upstream Research Co.*

Melo Filho, E., 1982. Investigação sobre a Análise da Agitação Marítima. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Vilolante-Carvalho, N., 1998. Investigação sobre a Evolução do Clima de Ondas na Bacia de Campos e a Correlação com as Situações Meteorológicas Associadas. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 186p.



RELATÓRIO TÉCNICO [REV. 00]

MODELAGEM DE MATERIAL PARTICULADO
Poço Maui

/BM-C-39

Preparado para:
HABTEC / OGX

Preparado por:
Bruna Cerrone

Revisado por:
Francisco dos Santos

29 de agosto de 2008

PROOCEANO

AV. RIO BRANCO, 311 / 1224 CENTRO
CEP 20.0040-009 RIO DE JANEIRO RJ
TEL | FAX +55 21 2532-5666
WWW.PROOCEANO.COM.BR

RELATÓRIO TÉCNICO [REV.00]

MODELAGEM DE MATERIAL PARTICULADO

Poço Maui

/BM-C-39

Preparado para:
HABTEC / OGX

Preparado por:
Bruna Cerrone

Revisado por:
Francisco dos Santos

29 de agosto de 2008

SUMÁRIO

I. INTRODUÇÃO.....	4
II. DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE.....	4
III. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS DA REGIÃO	6
III.1. Corrente	8
III.2. Temperatura e Salinidade.....	12
III.3. Onda.....	14
IV. ESTRATÉGIA DE MODELAGEM	15
IV.1. Modelo Adotado.....	15
IV.2. Descrição das Grades	16
IV.4. Construção das Matrizes de Sólidos.....	21
IV.5. Duração dos descartes.....	23
IV.6. Descartes de Longa Duração	25
V. RESULTADOS.....	26
V.1. Pilhas de Deposição – GRADE 1	26
V.2. Pilha de Deposição – GRADE 2.....	32
V.3. Plumas de Sólidos em Suspensão (SEM RISER)	37
V.4. Plumas de Sólidos em Suspensão (COM RISER)	40
VI. CONCLUSÕES.....	52
VII. BIBLIOGRAFIA.....	53

I. INTRODUÇÃO

Este relatório estuda, através da modelagem numérica, o destino físico do material a ser descartado pela atividade de perfuração do poço Maui, no Bloco BM-C-39, Bacia de Campos.

II. DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE

O poço em questão situa-se à $23^{\circ} 1' 15,02''$ S e $41^{\circ} 6' 48,55''$ W sobre a plataforma continental, na região da Bacia de Campos. A lâmina d'água no ponto de operação é de 110 m e este encontra-se distante aproximadamente 80 Km do município de Armação dos Búzios, Rio de Janeiro (Figura 1).

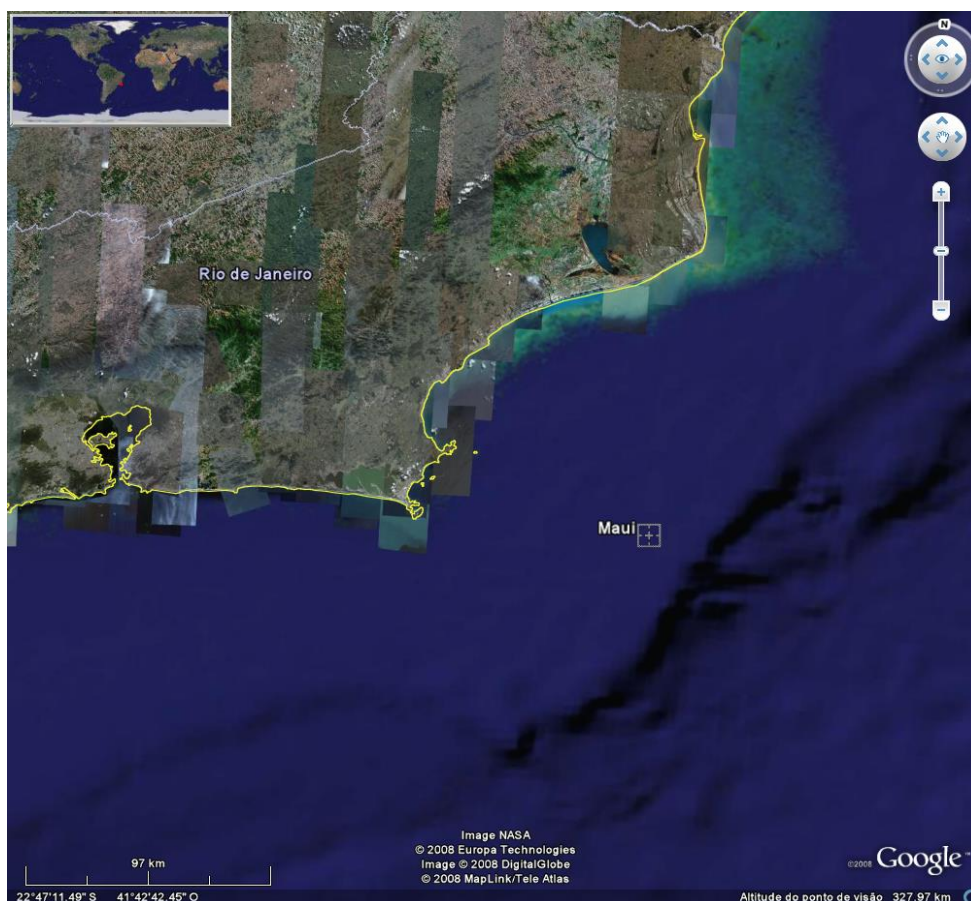


Figura 1: Localização do poço Maui, BM-C-39 - Bacia de Campos.

A perfuração ocorrerá em quatro seções. Nas seções 1 e 2, o descarte ocorrerá próximo ao assoalho marinho (sem *riser*) e será usado um fluido convencional viscoso

(misturado ao *Pad Mud* na segunda seção). O descarte das duas últimas seções ocorrerá após a instalação do *riser*, a 10 m da linha d'água.

Os volumes e vazões descartados em cada seção são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Descartes previstos para o poço Maui no bloco BM-C-39.

Parâmetros	unidade	seção 1	seção 2	seção 3	seção 4
profundidade de descarte	m	103.00	103.00	10.00	10.00
Cascalho e Fluido Aderido					
volume de cascalho	m ³	57.46	106.87	69.60	33.05
volume de fluido aderido	m ³	160.17	528.58	104.40	49.58
duração do descarte	h	7.00	26.00	60.00	54.00
volume total descartado	m ³	217.63	635.45	173.99	82.63
vazão	m ³ /h	31.09	24.44	2.90	1.53
Fluido excedente					
volume de fluido excedente	m ³	-	-	-	254.80
duração do descarte	h	-	-	-	4.00
vazão	m ³ /h	-	-	-	63.70
base do fluido		água	água	água	água

III. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS DA REGIÃO

A região está sob influência do fluxo da Corrente do Brasil sujeita à passagem de vórtices e meandros da corrente, que juntos ao padrão forçado pelos fenômenos meteorológicos da região caracterizam, de forma resumida, a oceanografia da região.

A escassez de dados oceanográficos disponíveis na costa brasileira torna difícil a tarefa de estabelecer as características típicas da região para serem utilizadas como forçantes no modelo de dispersão.

Para esta caracterização foram utilizados dados disponíveis do *HYCOM Consortium*. Este projeto é resultado de um esforço multi-institucional criado pelo *National Ocean Partnership Program (NOPP)*, parte do *U. S. Global Ocean Data Assimilation Experiment (GODAE)*, para desenvolver e avaliar a assimilação de dados em um modelo oceânico de coordenadas híbridas.

Os resultados do *hindcast* que contempla a região do poço encontram-se disponíveis para utilização na página do projeto. Os dados possuem uma resolução espacial de $1/12^\circ$ e uma série temporal de 02 de janeiro de 2003 a 02 de janeiro de 2007 (aproximadamente 1400 dias), e dispõem, dentre outros parâmetros, de temperatura, salinidade e velocidade da corrente. Os resultados obtidos pelo *HYCOM* se ajustam às principais características regionais descritas na literatura, o que valida a sua utilização neste estudo.

As localizações, do poço e do ponto do *HYCOM* utilizado no estudo, podem ser observadas na Figura 2.

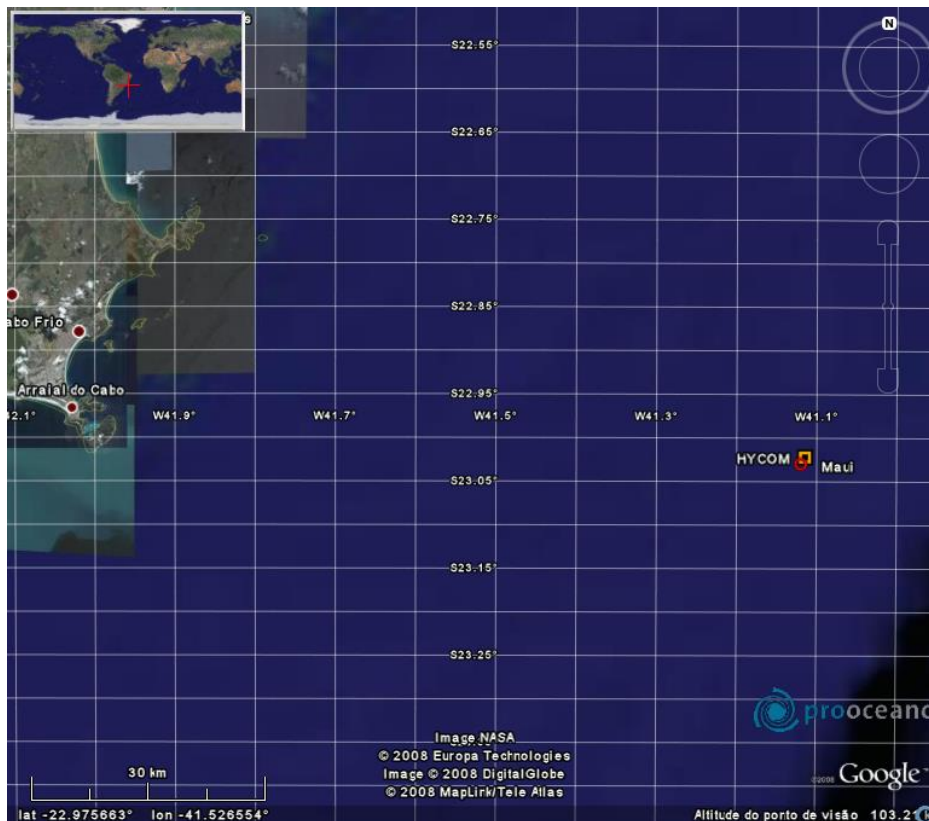


Figura 2: Localização do poço e dos dados do *HYCOM* utilizados.

Os perfis típicos de corrente, temperatura e salinidade utilizados como forçantes na simulação foram obtidos utilizando a técnica de análise de funções ortogonais empíricas (EOF), que é uma poderosa ferramenta no auxílio a compreensão da variabilidade de fenômenos oceanográficos através de séries temporais.

A análise de EOF oferece como resultado uma descrição resumida da variabilidade espacial e temporal do fenômeno, associada a cada modo normal estatístico. Trata-se da decomposição dos dados em modos normais, onde é possível obter a variação temporal associada a cada um destes modos, e também, a quantificação da representatividade de cada modo dentro da variância total dos dados.

Para a obtenção dos perfis típicos usados na modelagem foi conduzida a análise de EOF escalar, considerando assim que as componentes u e v são independentes e não correlacionáveis.

Os perfis sintéticos construídos são resultado do primeiro modo da EOF, que representa a maior parte da variância. Quanto à variação temporal, optou-se por utilizar a moda deste dado, de forma a representar a situação mais recorrente no tempo.

A Tabela 2 apresenta a variância explicada pelo primeiro modo da EOF, calculada para as componentes u e v da corrente, e para temperatura e salinidade.

Tabela 2: Variância explicada pelo Primeiro Modo da EOF.

Parâmetro	Variância (%)
Componente u	83,80
Componente v	92,92
Temperatura	68,99
Salinidade	71,20

III.1. Corrente

A série original de dados de corrente utilizada para o cálculo da EOF pode ser observada na Figura 3 em todos os seus níveis. Nota-se algumas inversões que podem ser associadas a fenômenos de mesoescala, como a passagem de vórtices.

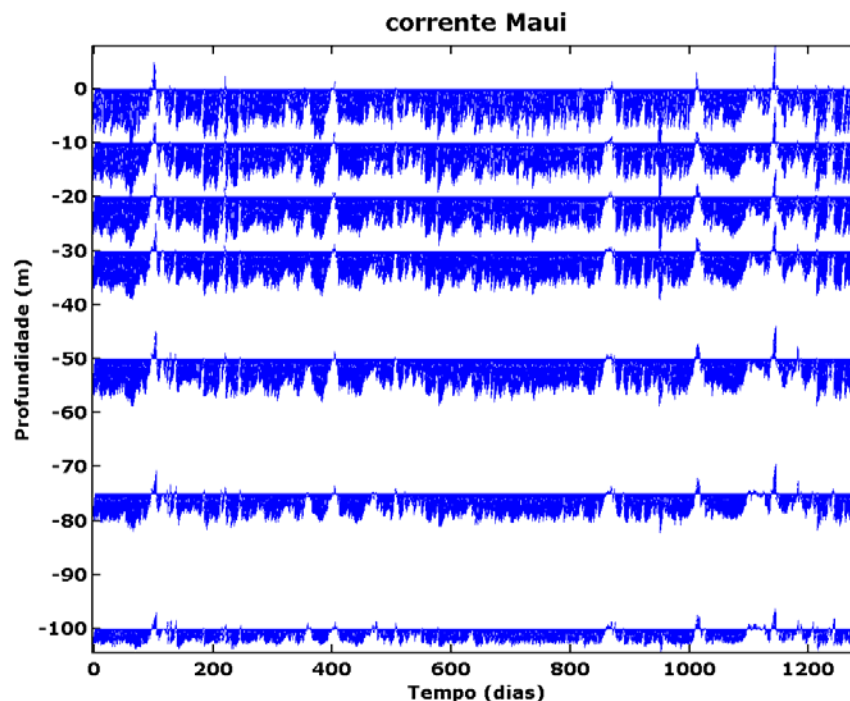


Figura 3: Série temporal de correntes utilizada na análise de EOF para elaboração do perfil sintético de corrente utilizado na modelagem.

Na Figura 4 e Figura 5 são apresentados os perfis sintéticos obtidos pelo primeiro modo da EOF para a componente zonal e para a componente meridional da corrente, respectivamente.

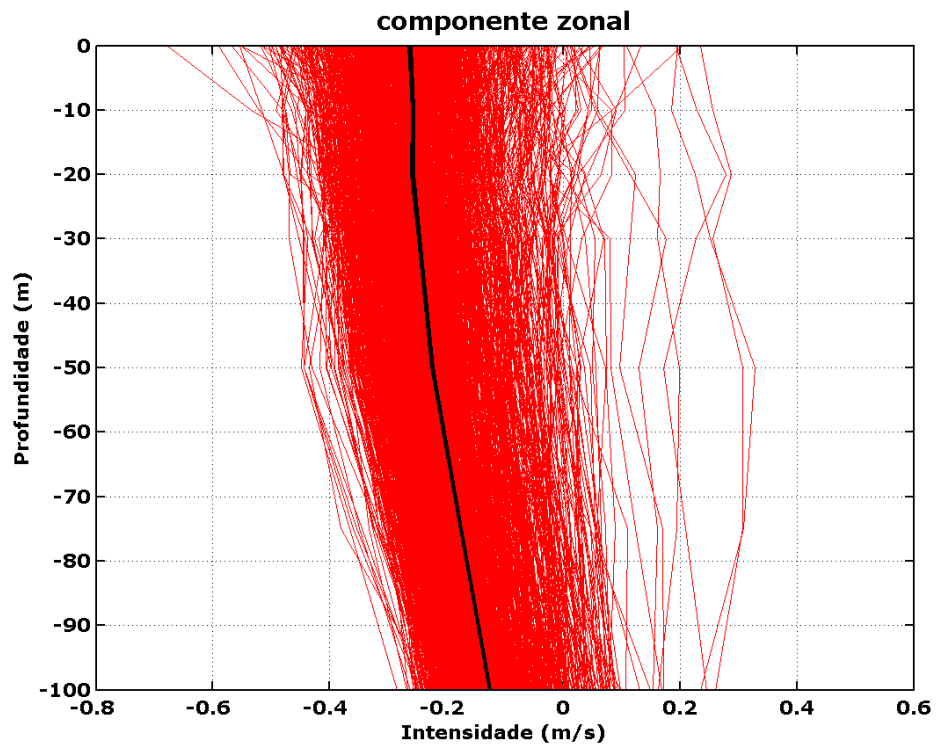


Figura 4: Perfil sintético obtido (preto) a partir das séries temporais (vermelho) para a componente zonal da corrente.

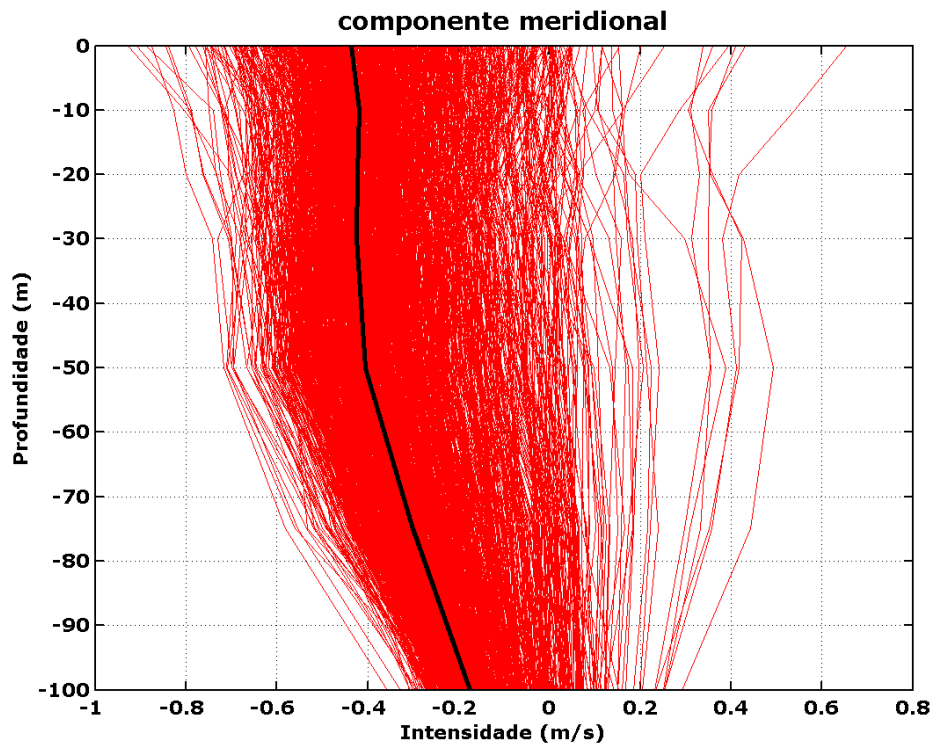


Figura 5: Perfil sintético obtido (preto) a partir das séries temporais dos perfis utilizados (vermelho) para a componente meridional da corrente.

O perfil de correntes obtido pelas componentes zonal e meridional pode ser observado na Figura 6.

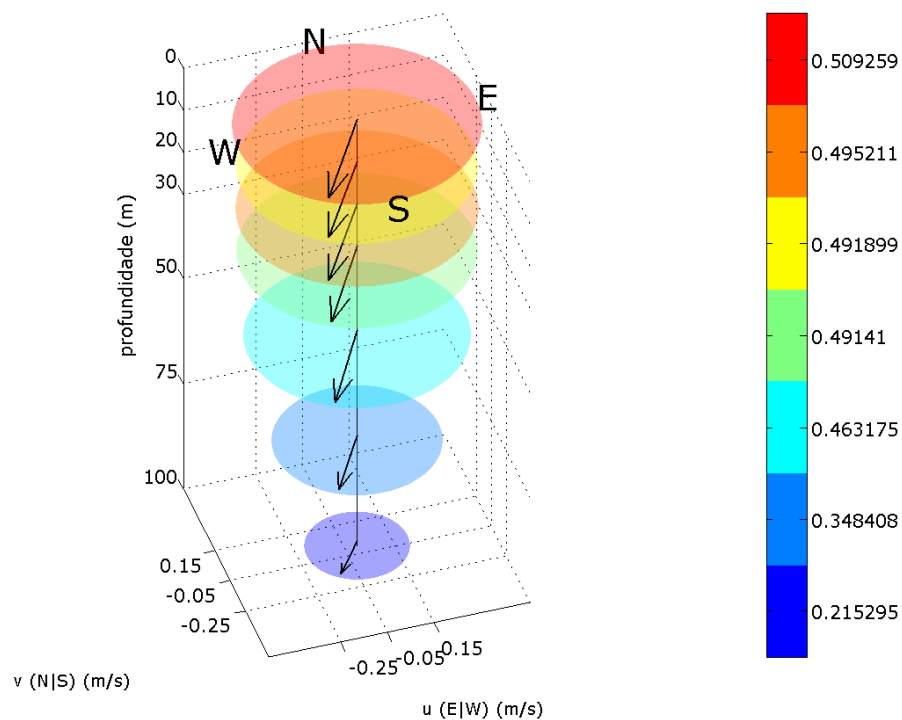


Figura 6: Perfil de correntes utilizado para as simulações. Os círculos envolvendo os vetores são proporcionais à velocidade e seus valores (em m/s) podem ser observados na escala de cor ao lado.

Os dados extraídos dos perfis sintéticos podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3: Componente zonal (u) e meridional (v) da corrente, e respectiva intensidade.

profundidade (m)	u (m/s)	v (m/s)	intensidade (m/s)
0,000	-0,263	-0,436	0,509
10,000	-0,258	-0,419	0,492
20,000	-0,258	-0,423	0,495
30,000	-0,247	-0,425	0,491
50,000	-0,225	-0,405	0,463
75,000	-0,176	-0,301	0,348
100,000	-0,126	-0,175	0,215

III.2. Temperatura e Salinidade

Na Figura 7 é apresentado o perfil obtido para a temperatura e na Figura 8 o perfil sintético da salinidade.

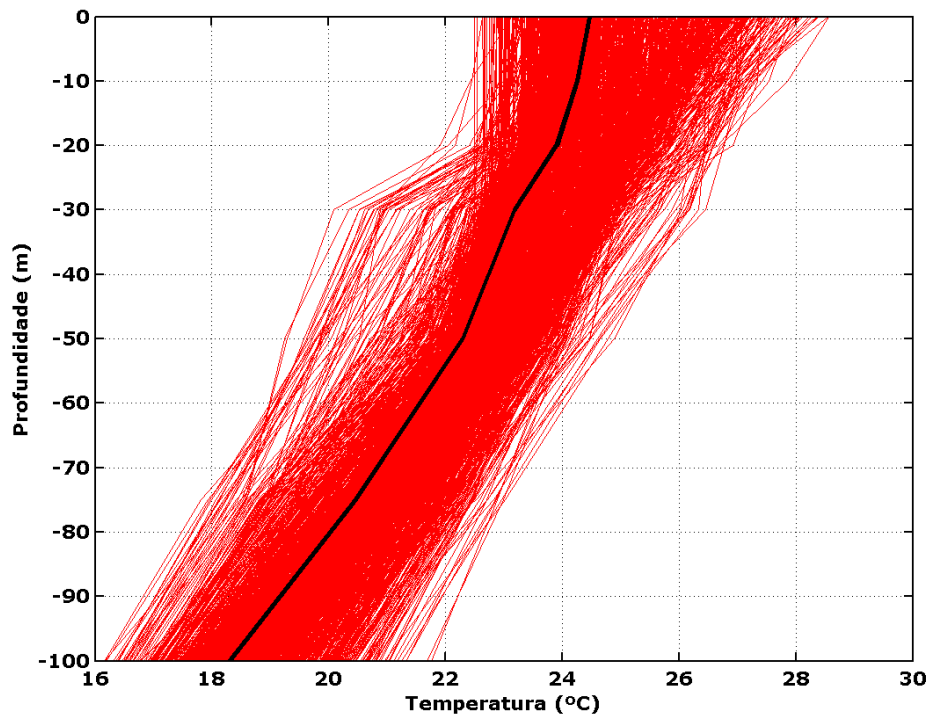


Figura 7: Perfil sintético obtido (preto) a partir das séries temporais dos perfis utilizados (vermelho) para a temperatura.

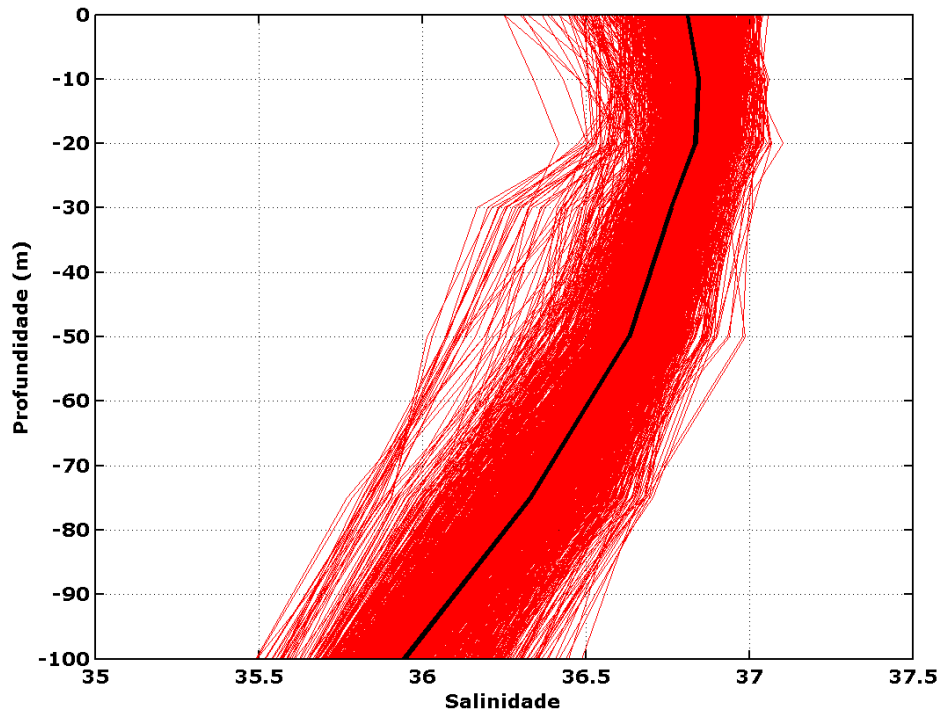


Figura 8: Perfil sintético obtido (preto) a partir das séries temporais dos perfis utilizados (vermelho) para a salinidade.

Os dados extraídos nos perfis sintéticos podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4: Dados de temperatura e salinidade com a profundidade.

profundidade (m)	temperatura (°C)	salinidade
0	24,464	36,811
10	24,250	36,844
20	23,898	36,835
30	23,179	36,761
50	22,291	36,632
75	20,452	36,330
100	18,306	35,945

III.3. Onda

Segundo Melo Filho (1991), o litoral brasileiro pode ser dividido, quanto ao clima de ondas, em 2 regiões. A região que vai do litoral sul até Cabo Frio é caracterizado pelo domínio de ondulações com períodos relativamente longos, diferente do encontrado acima de Cabo Frio, onde o clima é dominado por ondas com períodos mais curtos. Desta forma, os resultados encontrados por Violante-Carvalho (1998), na Baía de Campos, podem ser utilizados para o estudo em questão. Segundo o autor, de todas as situações encontradas, a mais comum, com ocorrência de 25,07% durante o período considerado, é um mar em desenvolvimento de Norte/Norte-Nordeste com ondulação de Sul/Sudeste. Na Tabela 5 são apresentados os valores utilizados nas simulações.

Tabela 5: Altura significativa e período de pico utilizado.

Altura significativa (m)	Período (s)
1,0	5,0

IV. ESTRATÉGIA DE MODELAGEM

IV.1. Modelo Adotado

O modelo escolhido para este trabalho é conhecido pelo nome OOC (*Offshore Operators Committee*) e foi desenvolvido especialmente para simulações de descarte de efluentes de plataformas de petróleo.

O modelo OOC simula o comportamento de uma pluma de efluente desde o momento de descarte até um instante e distância determinados pelo usuário. Para tanto, o modelo trabalha em três módulos distintos, encarregados, cada um, de uma diferente fase da pluma.

O primeiro módulo cuida da diluição inicial da pluma, representada em um modelo integral. Este módulo acompanha a evolução do efluente do momento que deixa a fonte até que encontre uma superfície horizontal (fundo ou superfície do mar) ou até que se estabilize no nível de flutuação neutra. Esta fase, também conhecida como *fase de jato*, ocorre enquanto o efluente possui movimento próprio, dado pela diferença de densidade com o meio ou pela velocidade de saída da fonte.

Finda a primeira etapa, o efluente se espalhará na profundidade em que se estabilizou devido ainda à diferença de densidade com o meio. Esta diferença tende a diminuir com o tempo e, em dado momento, sua contribuição para o espalhamento do efluente será inferior àquela dada pela turbulência do ambiente. Neste momento tem início a última fase, de dispersão passiva, onde o efluente, a não ser pela velocidade vertical associada a cada constituinte particulado, não possui movimento próprio e segue apenas a dinâmica local. O OOC aplica a dispersão passiva separadamente para cada constituinte do efluente.

Com o OOC, é possível obter resultados para a concentração de sólidos suspensos e a espessura dos acúmulos de fundo formados pela decantação do material. Estes resultados são gerados pelo modelo em grades cuja resolução é determinada pelo usuário no início da simulação.

Uma descrição detalhada do modelo é encontrada em Brandsma & Smith (1999).

IV.2. Descrição das Grades

Os efeitos dos descartes de sólidos no mar variam consideravelmente de acordo com a distância vertical entre a fonte e o assoalho marinho. Nas seções onde o descarte é feito próximo ao fundo (sem utilização do *riser*), o material tende a formar uma pilha de deposição significativamente maior que àquela associada aos descartes ocorrentes junto à superfície. Por outro lado, o material descartado da superfície (com *riser*) irá percorrer uma grande distância sofrendo influência das forçantes locais e cobrindo uma área maior quando depositado.

Em estudos de modelagem, a relação entre a resolução da grade projetada e a escala do fenômeno estudado é vital na obtenção de bons resultados. Deve-se atentar para o fato de que uma grade ampla, que abranja toda a região de deposição pode não ter resolução suficiente para mapear com exatidão a região de maior espessura. Da mesma forma, uma grade de alta resolução pode não cobrir uma área suficientemente grande como a que se espera para a deposição do material.

É proposto, como solução neste trabalho, o uso de duas diferentes grades. A primeira (grade 1), voltada para a estimativa da área total de deposição, possui um espaçamento de 10 m e uma área de 1000000 m² (~ 1 km²). A segunda (grade 2), projetada para a região de maior acúmulo de sedimentos, possui uma resolução espacial de 1,5 m e cobre uma área de 22500 m² (0,02 km²).

A comparação das duas grades projetadas e seus pontos de lançamento pode ser observada na Figura 9.

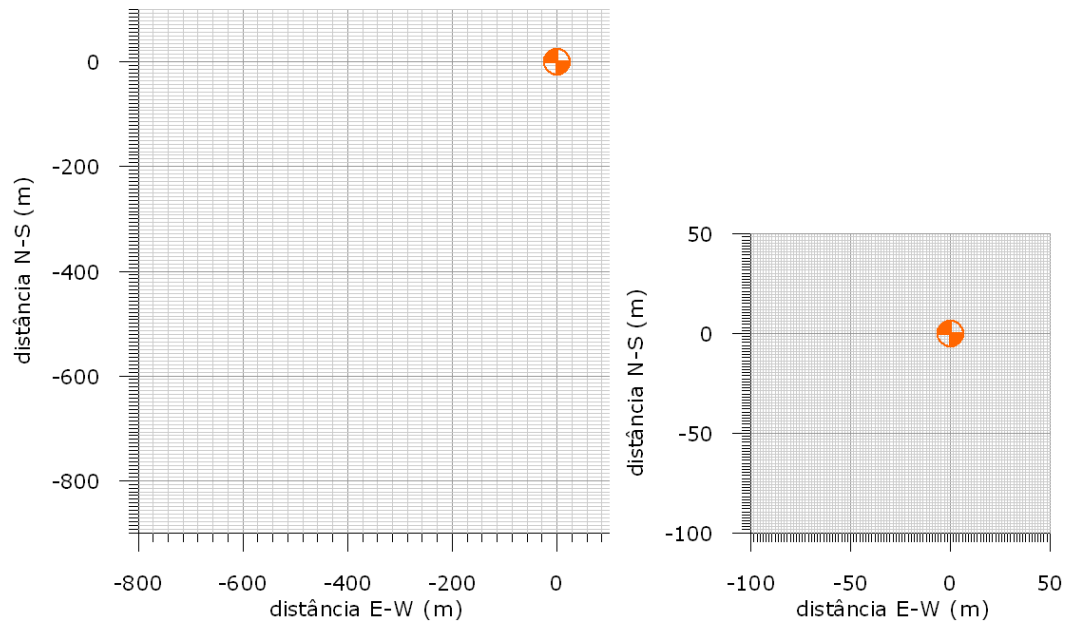


Figura 9: Comparação entre as duas grades projetadas para o estudo. A marcação em laranja representa a posição do ponto de lançamento em cada grade.

IV.3. Descrição dos Descartes

Na Tabela 6 são apresentadas as simulações realizadas e os códigos a elas associados neste estudo, referentes à seção e ao tipo de material descartado.

Tabela 6: Relação das simulações realizadas no estudo.

simulação	material	seção
SOL_SEC1	cascalhos e fluido aderido	1
SOL_SEC2	cascalhos e fluido aderido	2
SOL_SEC3	cascalhos e fluido aderido	3
SOL_SEC4	cascalhos e fluido aderido	4
FLU_SEC4	fluido excedente	4

No modelo OOC são necessários os seguintes parâmetros:

- vazão;
- raio da fonte;
- profundidade de descarte;

- inclinação vertical;
- direção;
- duração do descarte;
- densidade dos componentes sólidos;
- densidade do efluente.

A densidade do efluente nos descartes de cascalho e fluido aderido é calculada por uma média ponderada entre os volumes V e densidades ρ .

$$\rho_{\text{efluente}} = \rho_{\text{fluido}} \left(\frac{V_{\text{fluido}}}{V_{\text{fluido}} + V_{\text{cascalho}}} \right) + \rho_{\text{cascalho}} \left(\frac{V_{\text{cascalho}}}{V_{\text{fluido}} + V_{\text{cascalho}}} \right)$$

Utilizando a seção 1 como exemplo, consideramos $V_{\text{fluido}}=160,2 \text{ m}^3$, $V_{\text{cascalho}}=57,46 \text{ m}^3$, $\rho_{\text{fluido}}=1054,52 \text{ Kg/m}^3$, $\rho_{\text{cascalho}} =2200 \text{ Kg/m}^3$. Considerando a equação acima, chega-se a uma densidade do efluente $\rho_{\text{efluente}}=1356,96 \text{ Kg/m}^3$ para a descarga de cascalhos e fluido aderido.

Os valores obtidos para todos os descartes de cascalho e fluido aderido podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7: Valores usados na descrição da densidade média dos efluentes

Parâmetro	Unidade	seção 1	seção 2	seção 3	seção 4
V_{total}	m^3	217,63	635,45	173,99	82,63
V_{cascalho}	m^3	57,46	106,87	69,60	33,05
V_{fluido}	m^3	160,2	528,6	104,4	49,6
f_{cascalho}	%	26,40%	16,82%	40,00%	40,00%
f_{fluido}	%	73,60%	83,18%	60,00%	60,00%
ρ_{casc}	kg/m^3	2200	2200	2400	2500
ρ_{fluido}	kg/m^3	1054,52	1085,09	1138,41	1258,24
ρ_{efluente}	kg/m^3	1356,96	1272,60	1643,04	1754,94

O modelo OOC é mais bem adaptado à representação de descartes de curta duração. Entretanto, para o cálculo das pilhas de deposição no assoalho marinho, é possível representar descartes de longa duração através de um fator de escala aplicado a um descarte curto.

Ao utilizar-se um perfil estacionário de correntes (que não varia no tempo) e uma vazão constante considera-se que partículas idênticas lançadas nos primeiros e últimos instantes do descarte terão o mesmo comportamento ao longo da coluna d'água. Logo, irão depositar-se na mesma posição.

Assim sendo, é plausível considerar que um descarte de 6 horas formará exatamente a mesma pilha que 6 descartes de 1 hora. Ou seja, é possível representar um descarte de longa duração através de um fator de escala:

$$\gamma = \frac{t}{t_{\text{simulado}}}$$

Onde t é o tempo esperado na operação e t_{simulado} a duração do descarte usada nas simulações. Como as simulações foram efetuadas com 1 hora de descarte o fator de escala é igual ao tempo apresentado na Tabela 1.

Além destes parâmetros, é necessário que se conheça o comportamento das partículas sólidas lançadas em cada descarte. Em virtude das incertezas a respeito do material resultante da perfuração de um poço exploratório, optou-se por usar distribuições genéricas de velocidades de queda baseadas em Brandsma e Smith (1999). Estas distribuições foram obtidas a partir de uma quantidade representativa de experimentos e são aconselhadas no manual do modelo para quando os dados locais são desconhecidos (Tabela 8 e Tabela 9).

Tabela 8: Densidade, fração de volume e velocidade de queda dos sólidos de fluido de base aquosa.

Classe	Fração do volume	velocidade de queda (m/s) ¹
1	0,01	1,12E-02
2	0,04	3,17E-03
3	0,19	8,23E-04
4	0,19	6,40E-04
5	0,13	5,12E-04
6	0,13	4,36E-04
7	0,10	3,00E-04
8	0,05	1,48E-04
9	0,08	6,10E-05
10	0,07	2,74E-05

Tabela 9: Densidade, fração de volume e velocidade de queda para os descartes de cascalhos e sólidos de fluido de base aquosa.

Classe	Fração do volume	velocidade de queda (m/s)
1	0,25	0,259751
2	0,15	0,135179
3	0,16	0,097963
4	0,18	0,040112
5	0,02	0,014472
6	0,03	0,002328
7	0,07	0,000218
8	0,06	0,000017
9	0,08	0,000001

A distribuição obtida para a mistura de cascalhos e sólidos de fluido de base aquosa foi estimada a partir da análise granulométrica do material. Este tipo de estimativa subestima a velocidade de queda dos menores grãos uma vez que não contempla o agrupamento destes em partículas maiores e, por consequência, com maiores velocidades de queda. Para corrigir este efeito, usa-se no modelo um coeficiente de ajuste, cujo valor indicado no manual (Brandsma & Smith, 1999) para estas ocasiões é de 28.

¹ De acordo com Brandsma & Smith (1999).

IV.4. Construção das Matrizes de Sólidos.

Primeiramente é necessário estimar a fração de sólidos presente em cada descarte. Nos descartes de cascalho e fluido aderido, esta fração é dada pela soma das contribuições do cascalho (f_{casc}) e dos sólidos presentes no fluido (f_{solflu}).

$$f_{soltot} = f_{casc} + f_{solflu}$$

A fração de cascalhos e de sólidos do fluido é extraída diretamente da relação entre o volume de sólidos e o volume total de cada descarte.

Apesar de apresentar uma densidade média nos dados teóricos, o modelo OOC permite que seja atribuída uma densidade específica para cada classe de velocidade de queda descrita. Entretanto, pela falta de conhecimento do material descartado, optou-se por trabalhar com um valor médio de densidade para os sólidos descartados, que são fornecidos pela empresa fabricante do fluido.

Assim, a fração de cada classe de velocidade de queda foi recalculada para adaptar-se aos descartes a serem realizados através da equação:

$$f_{OOC} = f_{Brandsma \& Smith} \times f_{estimado}$$

As matrizes calculadas para cada descarte são apresentadas da Tabela 10 a Tabela 14.

Tabela 10: Matriz de densidade, fração e velocidade de queda para o descarte SOL_SEC1.

sólido	dens (g/cm ³)	fOOC	vel queda (pés/s)
sol1	2,2356	0,072554	0,8522000
sol2	2,2356	0,043532	0,4435000
sol3	2,2356	0,046434	0,3214000
sol4	2,2356	0,052239	0,1316000
sol5	2,2356	0,005804	0,0474800
sol6	2,2356	0,008706	0,0076380
sol7	2,2356	0,020315	0,0007160
sol8	2,2356	0,017413	0,0000553
sol9	2,2356	0,023217	0,0000044

Tabela 11: Matriz de densidade, fração e velocidade de queda para o descarte SOL_SEC2.

sólido	dens (g/cm ³)	f_ooc	vel queda (pés/s)
sol1	2,3025	0,052479	0,8522000
sol2	2,3025	0,031487	0,4435000
sol3	2,3025	0,033587	0,3214000
sol4	2,3025	0,037785	0,1316000
sol5	2,3025	0,004198	0,0474800
sol6	2,3025	0,006297	0,0076380
sol7	2,3025	0,014694	0,0007160
sol8	2,3025	0,012595	0,0000553
sol9	2,3025	0,016793	0,0000044

Tabela 12: Matriz de densidade, fração e velocidade de queda para o descarte SOL_SEC3.

sólido	dens (g/cm ³)	f_ooc	vel queda (pés/s)
sol1	2,3563	0,115055	0,8522000
sol2	2,3563	0,069033	0,4435000
sol3	2,3563	0,073635	0,3214000
sol4	2,3563	0,082839	0,1316000
sol5	2,3563	0,009204	0,0474800
sol6	2,3563	0,013807	0,0076380
sol7	2,3563	0,032215	0,0007160
sol8	2,3563	0,027613	0,0000553
sol9	2,3563	0,036817	0,0000044

Tabela 13: Matriz de densidade, fração e velocidade de queda para o descarte SOL_SEC4.

sólido	dens (g/cm ³)	fsol	vel queda (pés/s)
sol1	2,5191	0,121920	0,8522000
sol2	2,5191	0,073152	0,4435000
sol3	2,5191	0,078029	0,3214000
sol4	2,5191	0,087782	0,1316000
sol5	2,5191	0,009754	0,0474800
sol6	2,5191	0,014630	0,0076380
sol7	2,5191	0,034138	0,0007160
sol8	2,5191	0,029261	0,0000553
sol9	2,5191	0,039014	0,0000044

Tabela 14: Matriz de densidade, fração e velocidade de queda para o descarte FLU_SEC4.

sólido	dens (g/cm ³)	fsol	vel queda (pés/s)
sol1	2,6063	0,001467	0,0368000
sol2	2,6063	0,005840	0,0104000
sol3	2,6063	0,028119	0,0027000
sol4	2,6063	0,028119	0,0021000
sol5	2,6063	0,019374	0,0016800
sol6	2,6063	0,019374	0,0014300
sol7	2,6063	0,014613	0,0009850
sol8	2,6063	0,007307	0,0004850
sol9	2,6063	0,011679	0,0002000
sol10	2,6063	0,010240	0,0000900

IV.5. Duração dos descartes

Conhecendo a profundidade na qual o efluente será descartado e a velocidade de queda de cada partícula, é possível avaliar o tempo de chegada das partículas ao assoalho oceânico, simplesmente pela divisão da camada a ser percorrida e a velocidade de queda de cada classe de grão. De acordo com os parâmetros apresentados na Tabela 1, os tempos obtidos para cada descarte são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Tempos estimados para cada classe de sólido nos descartes previstos.

Classe	tempo (horas)		
	SOL_SEC1 - SOL_SEC2	SOL_SEC3 - SOL_SEC4	FLU_SEC4
1	0,007	0,1	2,5
2	0,014	0,2	8,8
3	0,020	0,3	33,8
4	0,048	0,7	43,4
5	0,134	1,9	54,2
6	0,835	11,9	63,7
7	8,910	127,3	92,5
8	115,360	1648,0	187,9
9	1440,048	20572,1	455,7
10			1012,6

A representação gráfica dos tempos de queda estimados, para cada classe de grão com seu respectivo volume percentual, pode ser observada na Figura 10.

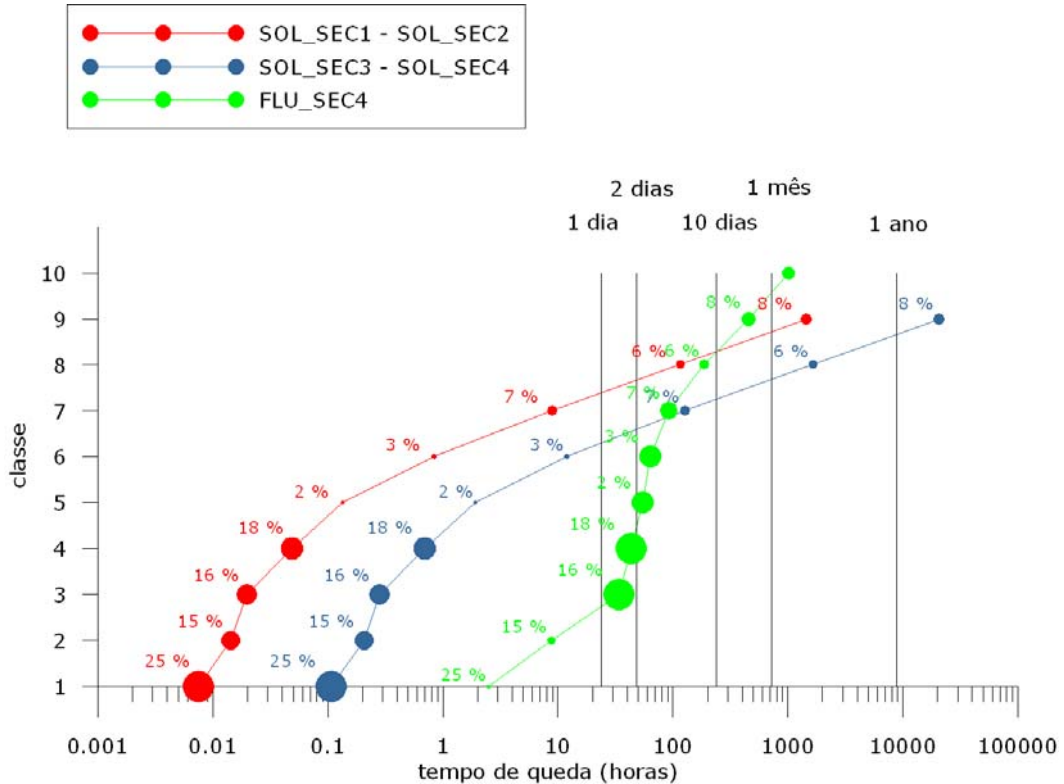


Figura 10: Tempo de queda das partículas de acordo com a classe granulométrica de cada tipo de descarte. Os círculos preenchidos representam a fração de volume que cada classe representa.

Nota-se nos descartes das seções sem *riser* (seção 1 e seção 2) que 86% do volume de sólidos depositam-se em menos de 10 h. Esta percentagem é de 79 % para os descartes com *riser*, uma vez que a distância a ser percorrida entre o ponto de descarte e o assoalho marinho é maior.

Quanto maior for o tempo de permanência dos grãos na coluna d’água, maior é a dispersão que as partículas sofrem em função da corrente. E quanto mais dispersa, maior é a área coberta pelas partículas e menores são as espessuras por elas formadas.

Uma maneira de estimar se as frações de volume que depositam-se após um determinado tempo formarão uma espessura maior que o limiar admitido é calculando o deslocamento horizontal que a partícula sofre em função do perfil de corrente. Para isto, foi realizada um aproximação de primeira ordem, ou seja, descartando os efeitos não-lineares do efluente no meio. Desta forma é possível estimar o quão espaçados as partículas se encontram, permitindo a escolha do tempo de simulação apropriada (Tabela 16).

Tabela 16: Distância horizontal percorrida por para cada classe de sólido.

Classe	distância horizontal (km)		
	SOL_SEC1 - SOL_SEC2	SOL_SEC3 - SOL_SEC4	FLU_SEC4
1	0,003	0,044	1,030
2	0,006	0,086	3,646
3	0,008	0,118	14,045
4	0,020	0,288	18,058
5	0,056	0,799	22,573
6	0,348	4,965	26,519
7	3,707	52,964	38,500
8	48,003	685,756	78,190
9	599,224	8560,339	189,612
10			421,359

IV.6. Descartes de Longa Duração

Ao considerarmos um perfil estacionário de correntes, espera-se que, a partir de um determinado momento durante a emissão do efluente, a concentração de sólidos em suspensão atinja um estado quase-estacionário. Assim, mesmo que o tempo de descarte seja superior ao tempo necessário para a pluma atingir este estado, os níveis de concentração não mudarão até o fim da emissão.

O método proposto por Brandsma e Smith (1999) foi utilizado para estimar o momento em que a pluma entra em condição estacionária ($t_{inicial}$) e o momento em que a pluma deixa essa condição (t_{final}):

$$t_{inicial} = \frac{X + 4\sigma}{u} \quad e \quad t_{final} = \frac{X - 4\sigma}{u} + t_{simulado}$$

onde $\sigma = \sigma_0 \left[1 + 4^{4/3} \frac{2}{3} \left(\frac{A_L \Delta t}{\sigma_0^{2/3}} \right) \right]$, X é a distância da fonte, u velocidade média da corrente

local, A_L um parâmetro de dissipação e σ_0 tamanho inicial da pluma, estimado na ordem de grandeza do tubo de descarte.

V. RESULTADOS

A seguir serão apresentadas as pilhas de deposição no assoalho marinho e plumas de sólidos em suspensão na coluna d'água estimadas pelas simulações realizadas.

As pilhas de deposição serão apresentadas por descarte e integradas, visando considerar o efeito conjunto dos descartes.

Por ocorrerem de forma sequencial e possuírem uma curta expectativa de permanência na coluna d'água, não será apresentada integração para as plumas de sólidos em suspensão.

As plumas são representadas aqui por perfis radiais ao poço (situado no ponto [0,0]), extraídos de forma a identificar a região de maior concentração de sólidos em suspensão.

De acordo com as análises realizadas em função da velocidade de queda e estimativa da distância percorrida por cada classe granulométrica (conforme apresentado na Figura 10 e Tabela 16), os tempos escolhidos para cada simulação foram:

10 h – SOL_SEC1 e SOL_SEC2

24 h – SOL_SEC3 e SOL_SEC4

96 h – FLU_SEC4

V.1. Pilhas de Deposição – GRADE 1

As pilhas formadas em cada descarte podem ser observadas da Figura 11 (SOL_SEC1) a Figura 14 (SOL_SEC4) e a integração dos resultados na Figura 15. O descarte de fluido excedente na seção 4 (FLU_SEC4) tanto pelo pouco volume de sólidos quanto pelo elevado tempo de queda destes, não foi capaz de formar espessuras superiores ao limiar 1 mm considerado.

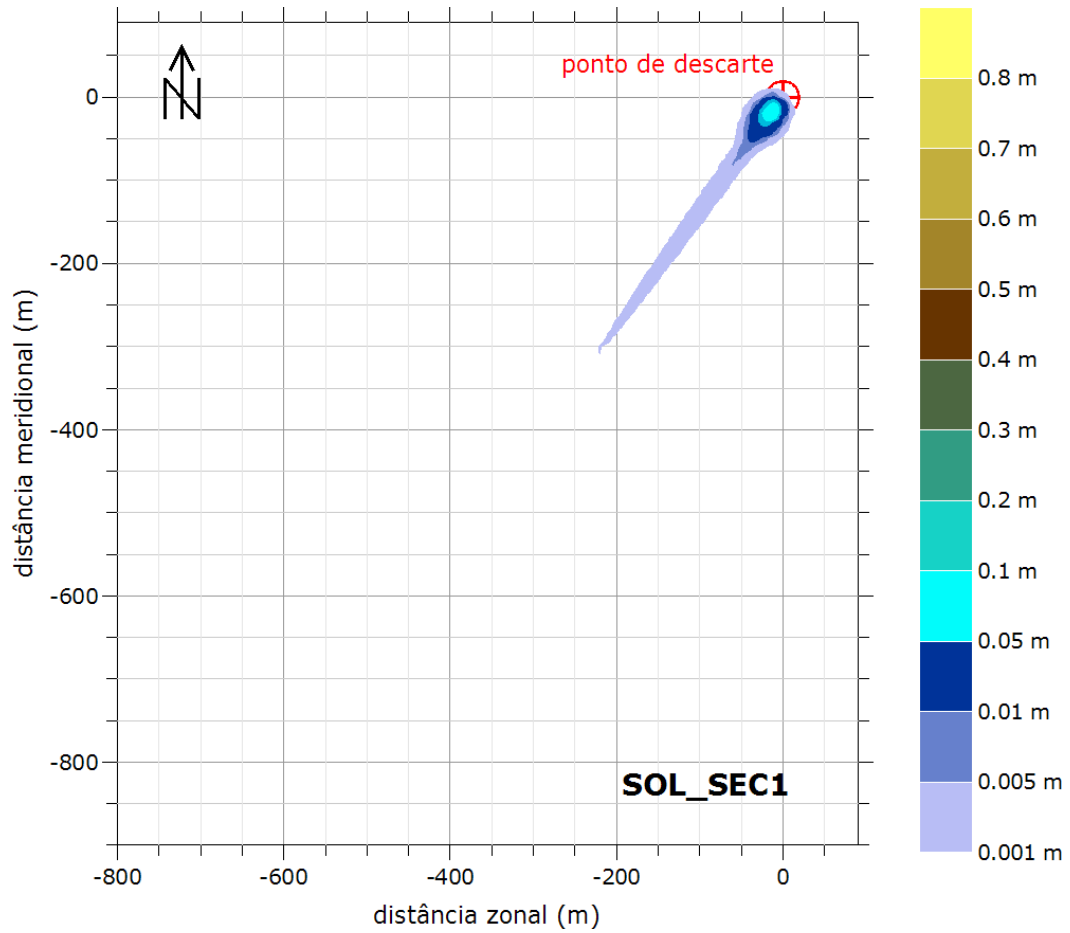


Figura 11: Espessura de deposição (m) encontrada para o descarte da SOL_SEC1, com a grade 1.

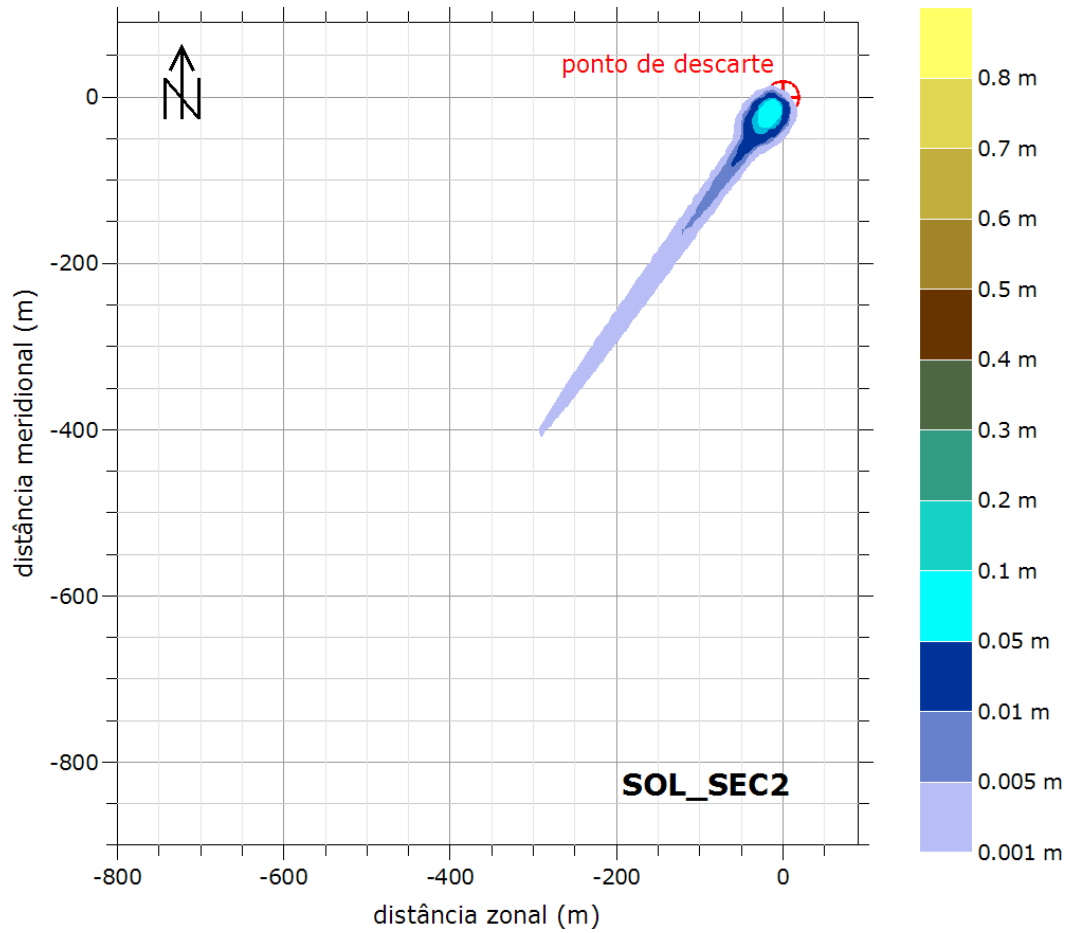


Figura 12: Espessura de deposição (m) encontrada para o descarte da SOL_SEC2, com a grade 1.

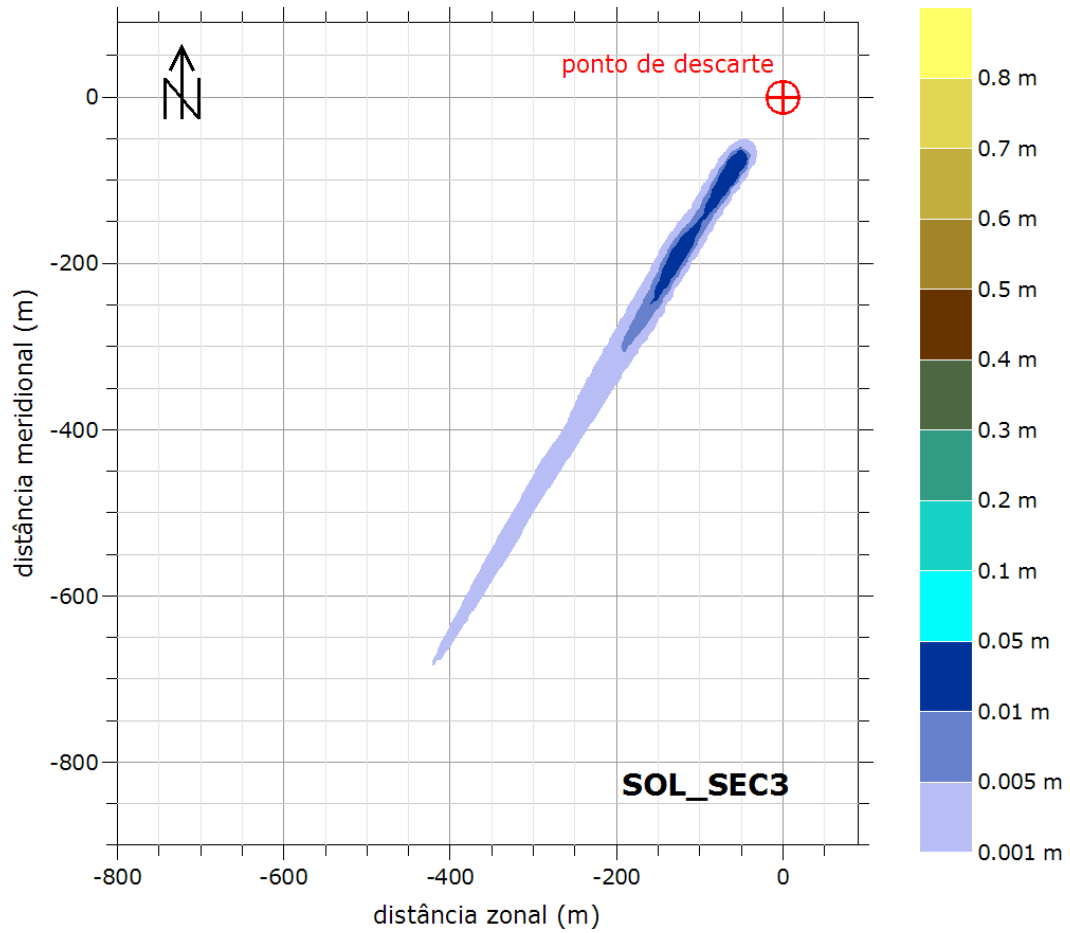


Figura 13: Espessura de deposição (m) encontrada para o descarte da SOL_SEC3, com a grade 1.

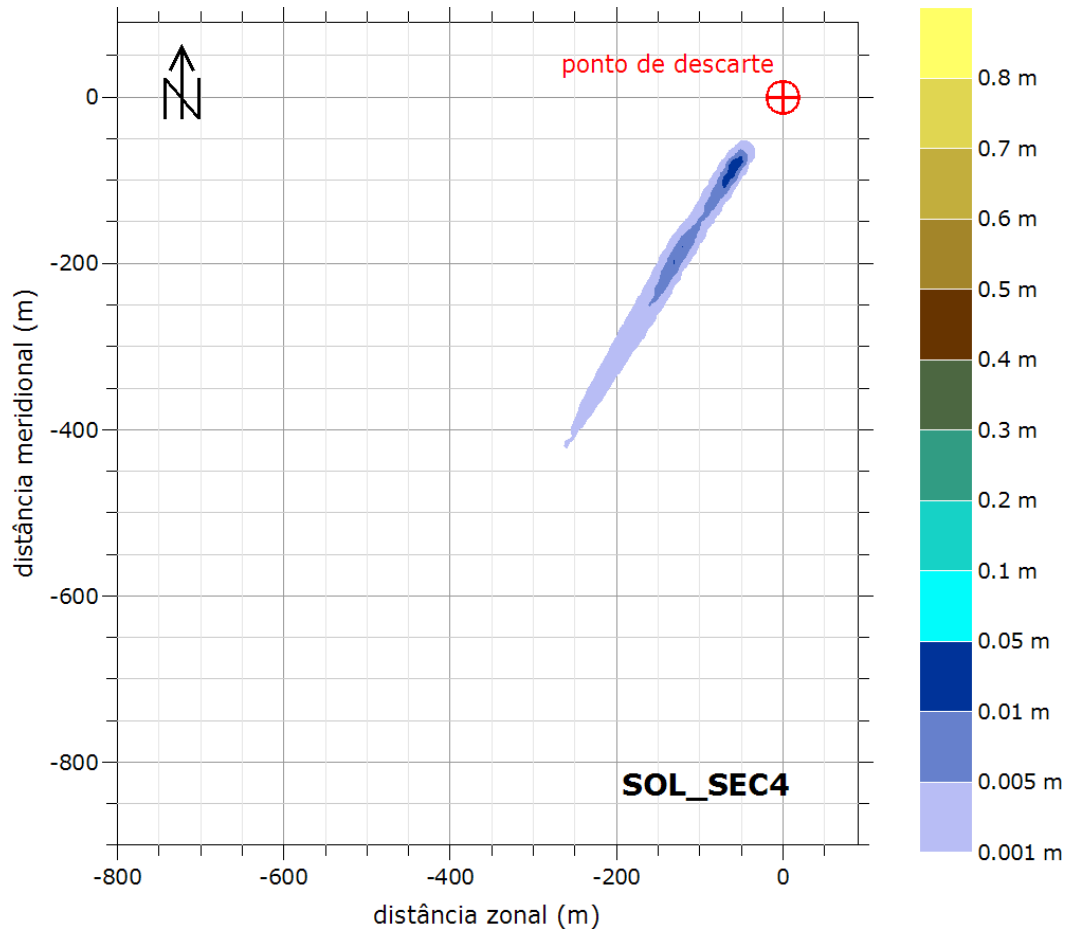


Figura 14: Espessura de deposição (m) encontrada para o descarte da SOL_SEC4, com a grade 1.

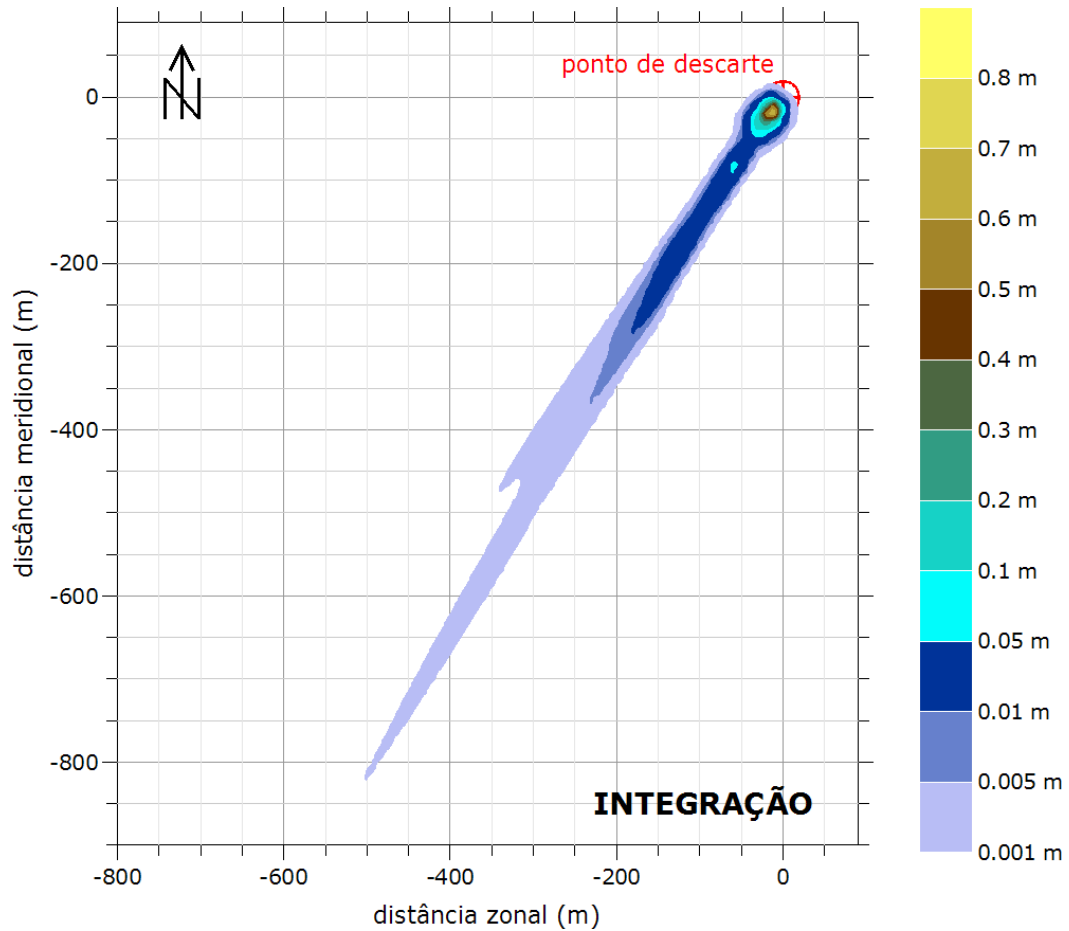


Figura 15: Pilha resultante da integração de todos os descartes realizados com a grade 1.

Um resumo dos resultados obtidos para a deposição de sólidos é apresentado na Tabela 17.

Tabela 17: Resumo dos resultados obtidos para as pilhas de deposição.

simulação	esp. máxima (m)	área (m ²)
SOL_SEC1	0,220	9760,22
SOL_SEC2	0,479	15434,13
SOL_SEC3	0,028	22166,31
SOL_SEC4	0,014	12192,26
FLU_SEC4	-	-
INTEGRAÇÃO TOTAL	0,699	40982,57

Observa-se que o descarte responsável pela maior espessura é o da seção 2 (~0,5 m). O descarte da seção 3 forma a maior área (22166,31 m²) e correspondendo a 54% da cobertura obtida pela integração de todas as pilhas.

V.2. Pilha de Deposição – GRADE 2

As maiores espessuras podem ser subestimadas pela utilização de grandes espaçamentos de grade. De forma a evitar este efeito, um novo grupo de simulações foi realizado, usando-se desta vez uma grade cuja resolução espacial é superior à da *Grade 1*. Espera-se, desta forma, uma correta estimativa das espessuras máximas formadas nestes descartes.

As pilhas de deposição dos descartes que foram obtidas com a grade 2 são apresentadas da Figura 16 (SOL_SEC1) a Figura 19 (SOL_SEC4).

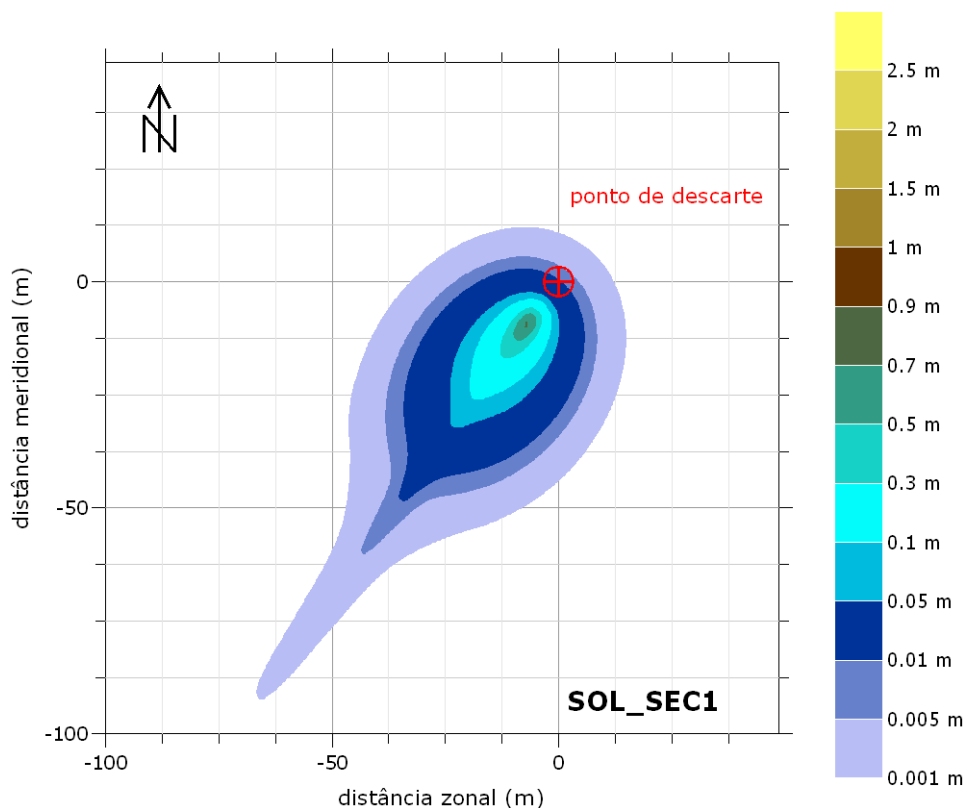


Figura 16: Espessura de deposição (m) encontrada para o descarte da SOL_SEC1, com a grade 2.

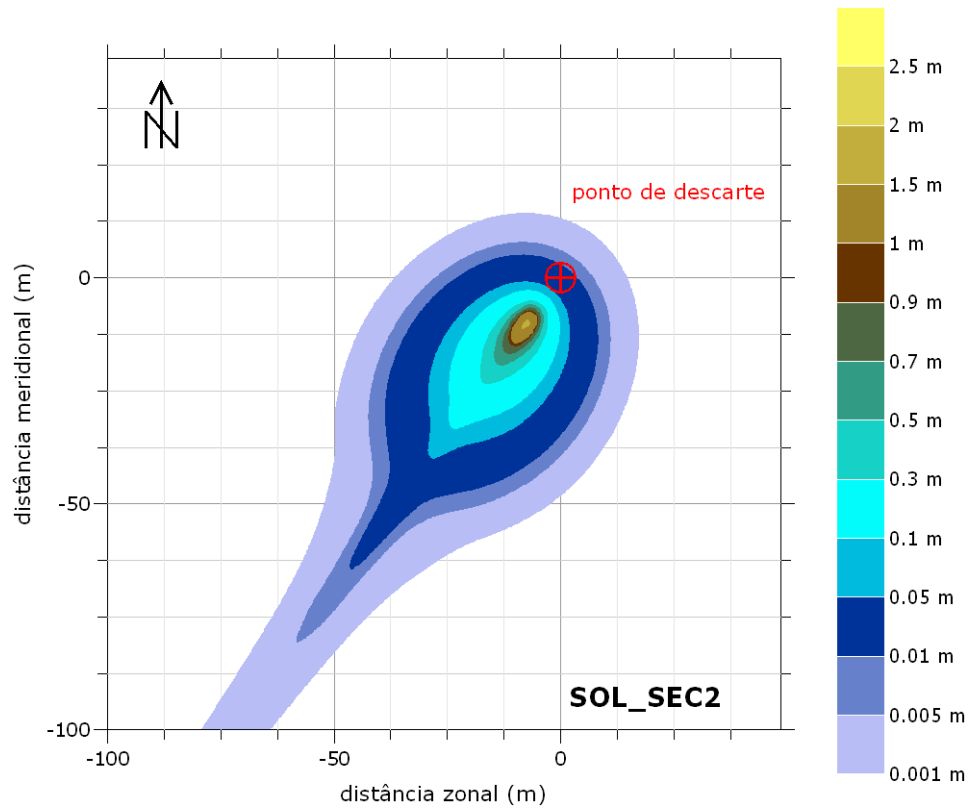


Figura 17: Espessura de deposição (m) encontrada para o descarte da SOL_SEC2, com a grade 2.

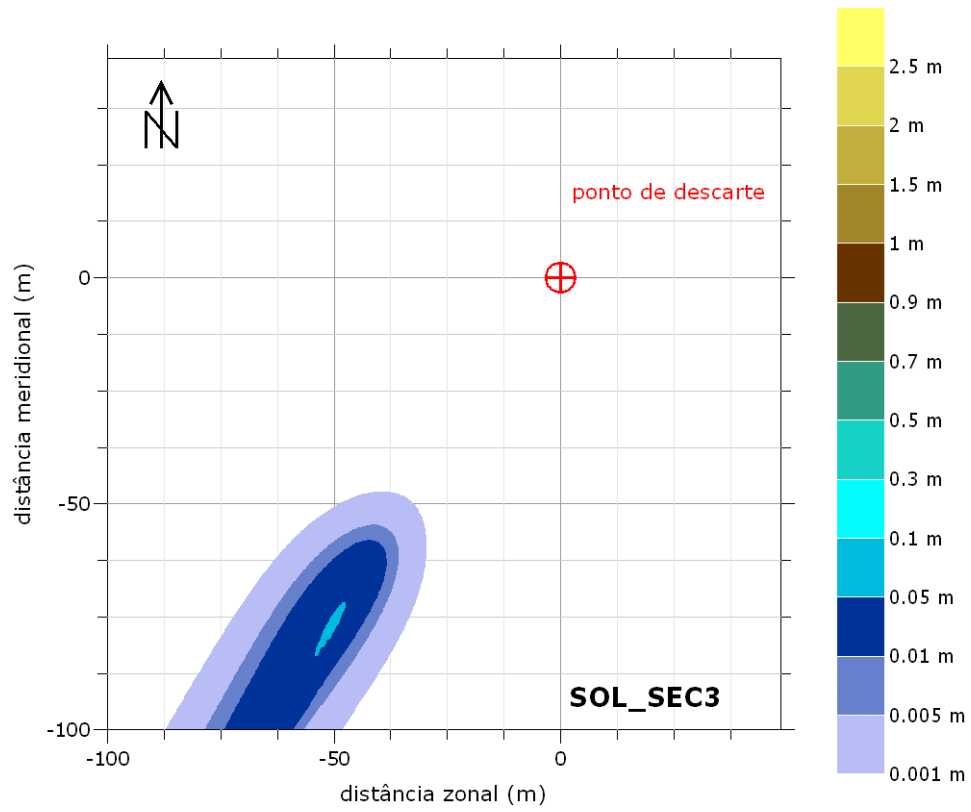


Figura 18: Espessura de deposição (m) encontrada para o descarte da SOL_SEC3 com a grade 2.

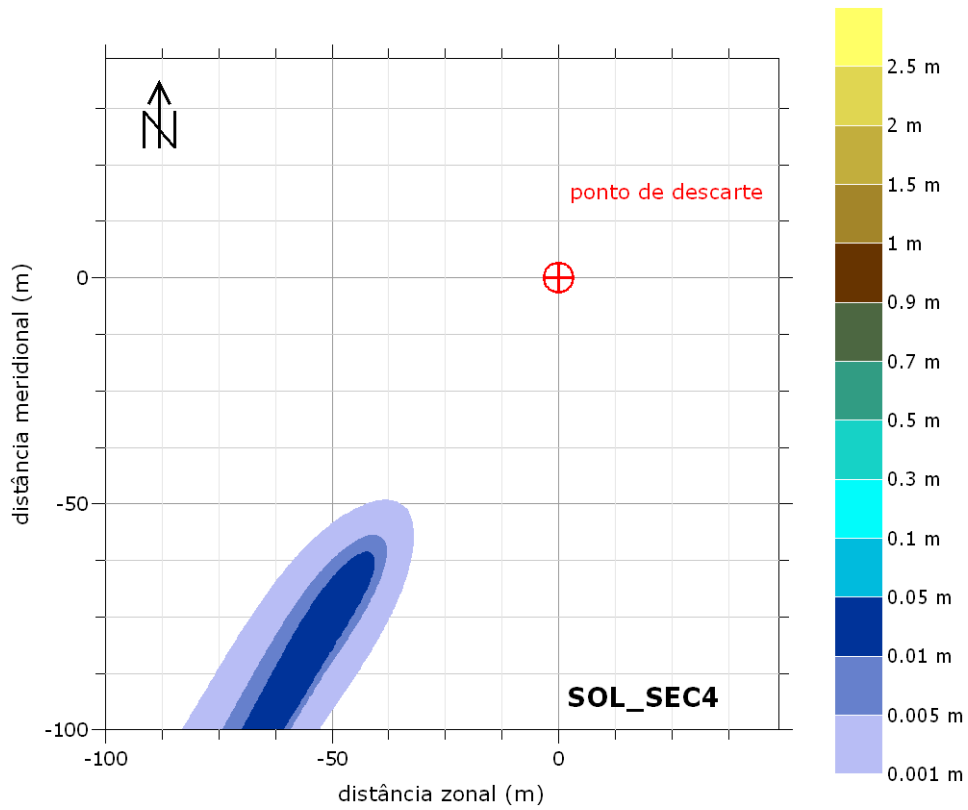


Figura 19: Espessura de deposição (m) encontrada para o descarte da SOL_SEC4 com a grade 2.

A integração das pilhas de deposição obtidas com a grade 2 é apresentada na Figura 20. A espessura máxima alcançada é de aproximadamente 2,07 m a 10 m de distância da fonte.

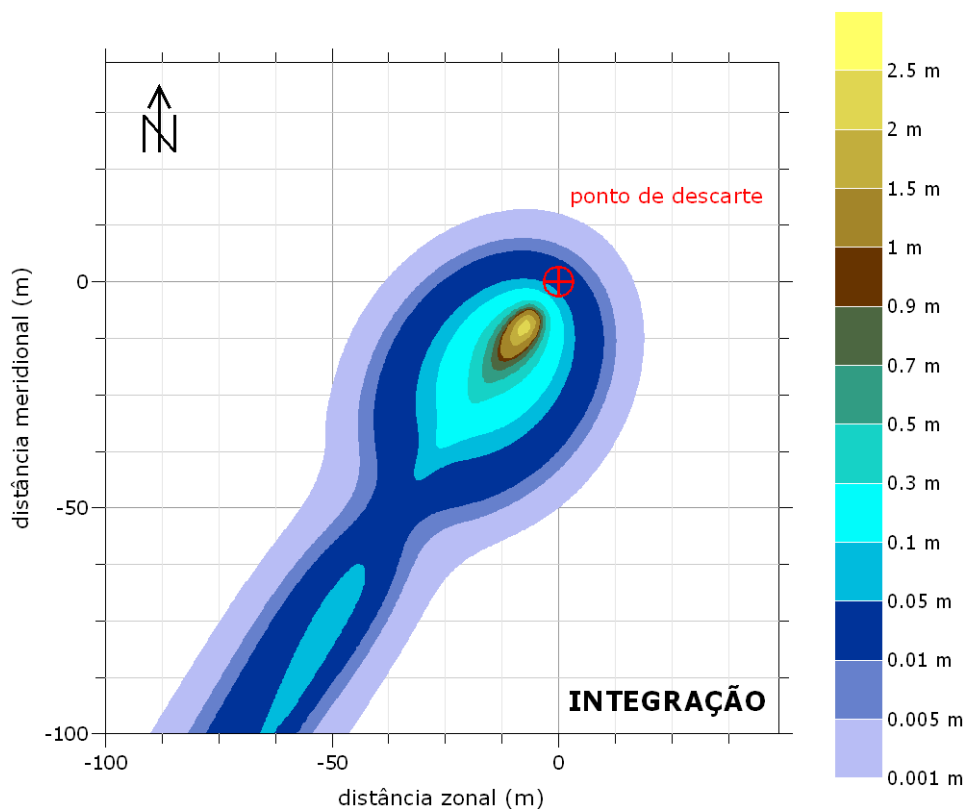


Figura 20: Pilha resultante da integração de todos os descartes realizados com a grade 2.

As espessuras máximas encontradas com a grade 2, para cada seção, são apresentadas na Tabela 18. Conforme esperado, a maior contribuição é devida ao descarte da seção 2.

Tabela 18: Espessuras máximas obtidas com a grade 2.

simulação	esp, máxima (m)
SOL_SEC1	0,723
SOL_SEC2	1,596
SOL_SEC3	0,055
SOL_SEC4	0,031
FLU_SEC4	-
INTEGRAÇÃO TOTAL	2,319

V.3. Plumas de Sólidos em Suspensão (SEM RISER)

Os resultados das plumas de sólidos em suspensão serão apresentados apenas individualmente uma vez que o impacto por elas causado não é cumulativo.

As plumas são representadas aqui por perfis radiais ao poço (situado no ponto [0,0]) extraídos de forma a identificar a região de maior concentração de sólidos em suspensão.

O posicionamento das radiais para o descarte SOL_SEC1 pode ser observado na Figura 21, enquanto o resultado de concentração de sólidos obtido é apresentado na Figura 22. Pode-se observar que a pluma restringe-se a profundidades superiores a 98 m. Conforme afasta-se da fonte, a pluma diminui ainda mais este alcance vertical, aumentando seu espalhamento lateral. Entre 200 e 300 m, a pluma não apresenta concentração de sólidos em suspensão superior a 5 ppm.

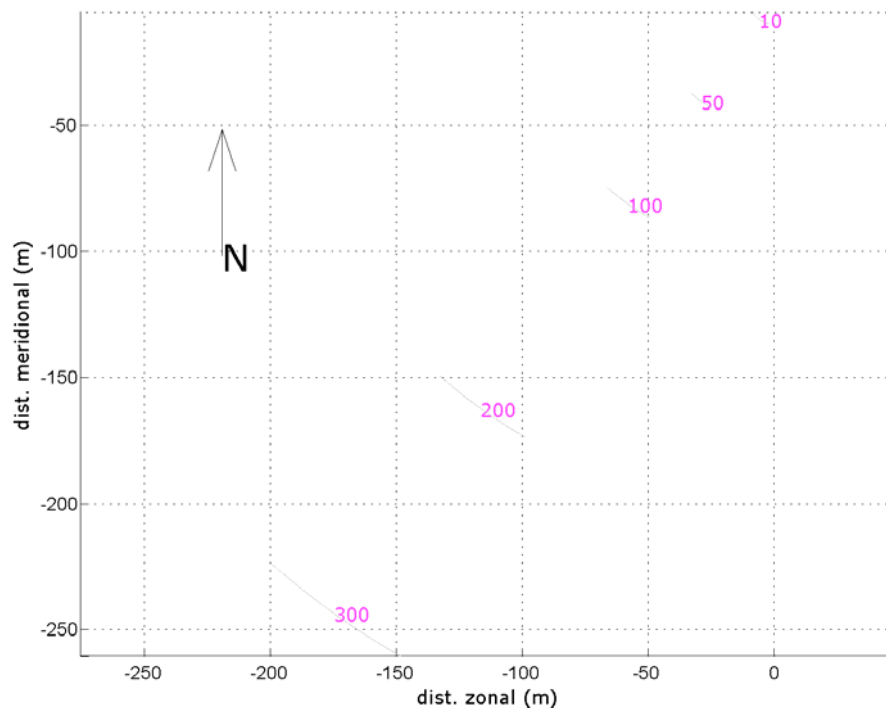


Figura 21: Posicionamento das radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte da SOL_SEC1.

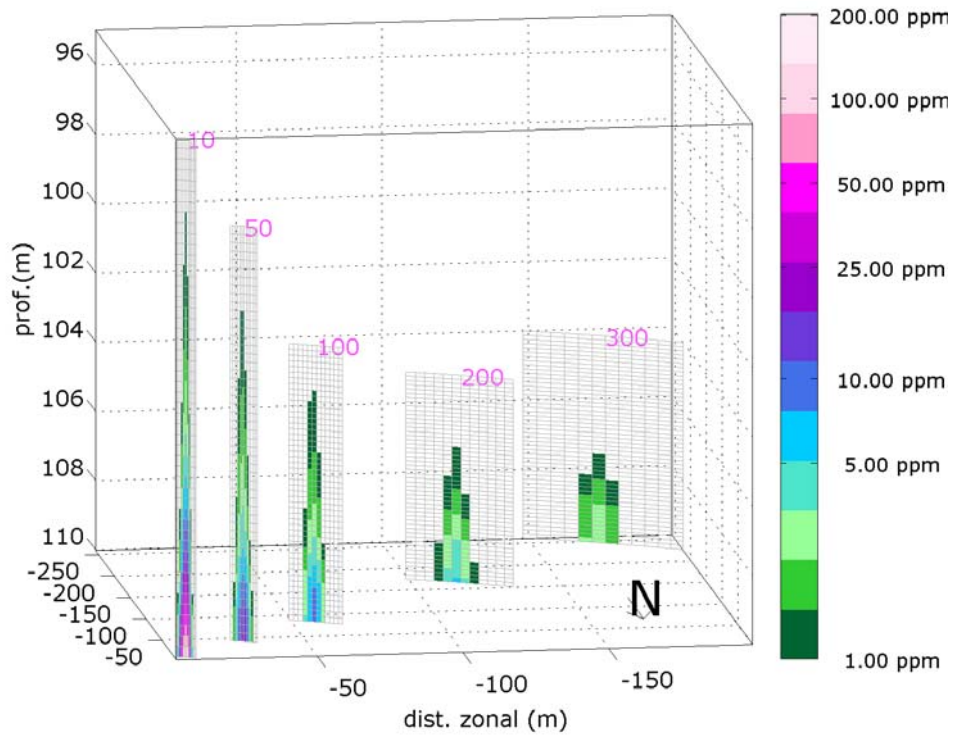


Figura 22: Perfis radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte da SOL_SEC1.

As radiais de concentração do descarte de cascalho e fluido aderido na seção 2 e os perfis extraídos são apresentados na Figura 23 e na Figura 24, respectivamente. Esta pluma ocupa uma porção menor da coluna d'água, restringindo-se aos primeiros 5 m a partir do fundo. No sentido da corrente de fundo, são verificadas concentrações de 5 ppm até a distância de 300 m.

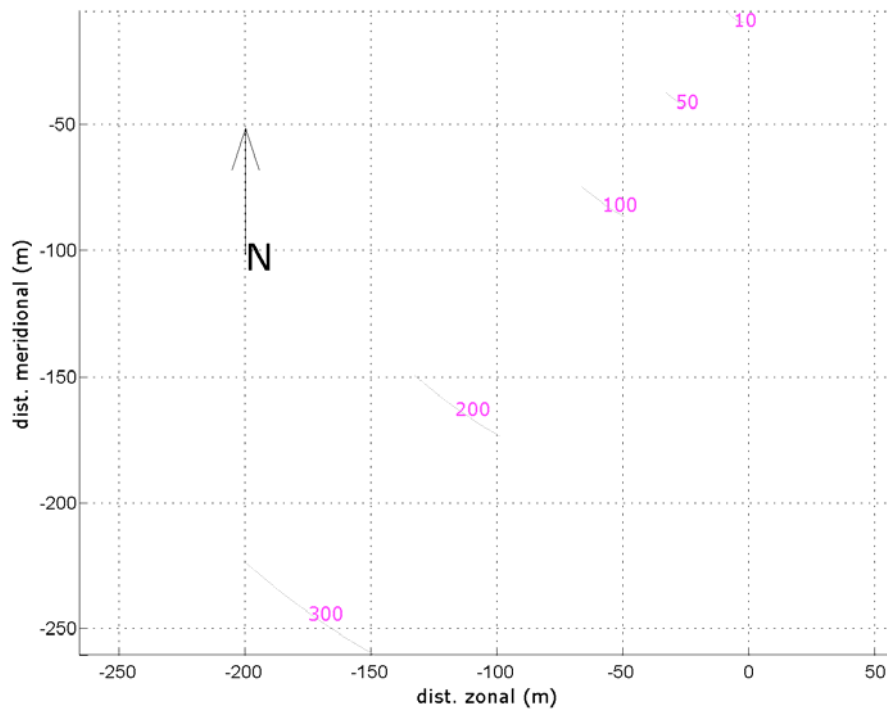


Figura 23: Posicionamento das radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte da SOL_SEC2.

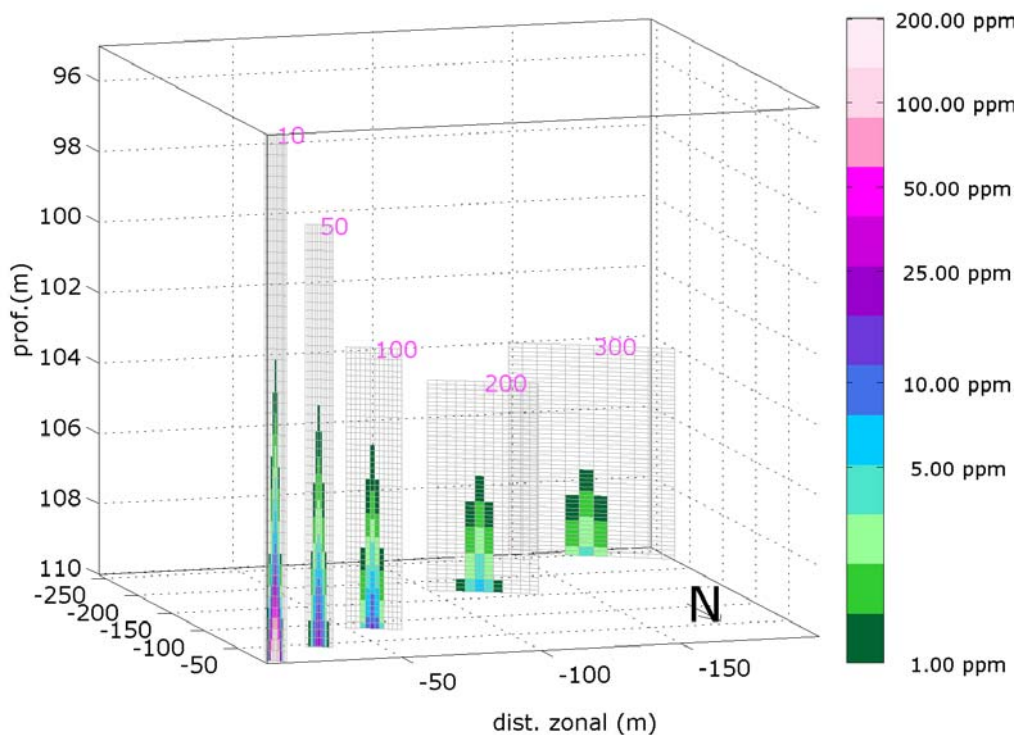


Figura 24: Perfis radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte da SOL_SEC2.

V.4. Plumas de Sólidos em Suspensão (COM RISER)

O posicionamento das radiais escolhidas para estudar o descarte SOL_SEC3 é apresentado na Figura 25 enquanto os perfis de concentração nelas obtidos são apresentados na Figura 26. Entre 10 e 50 m a pluma apresenta o maior comprimento vertical, estendendo-se por quase toda a coluna d'água. Na medida que os maiores grãos depositam-se, a pluma vai diminuindo sua concentração e atinge o limiar de 5 ppm a cerca de 300 m da fonte.

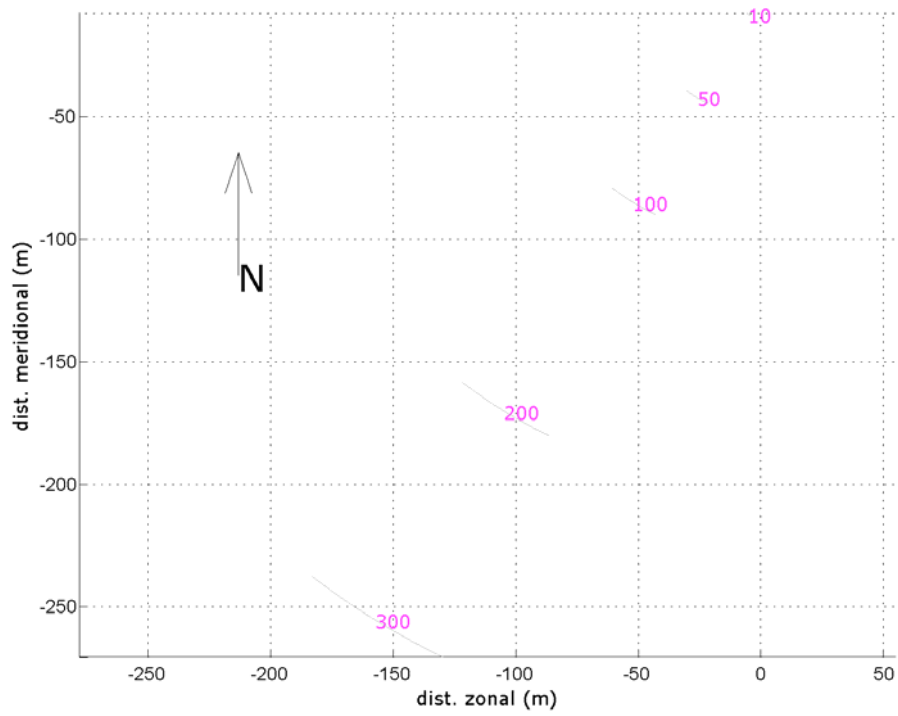


Figura 25: Posicionamento das radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte da SOL_SEC3.

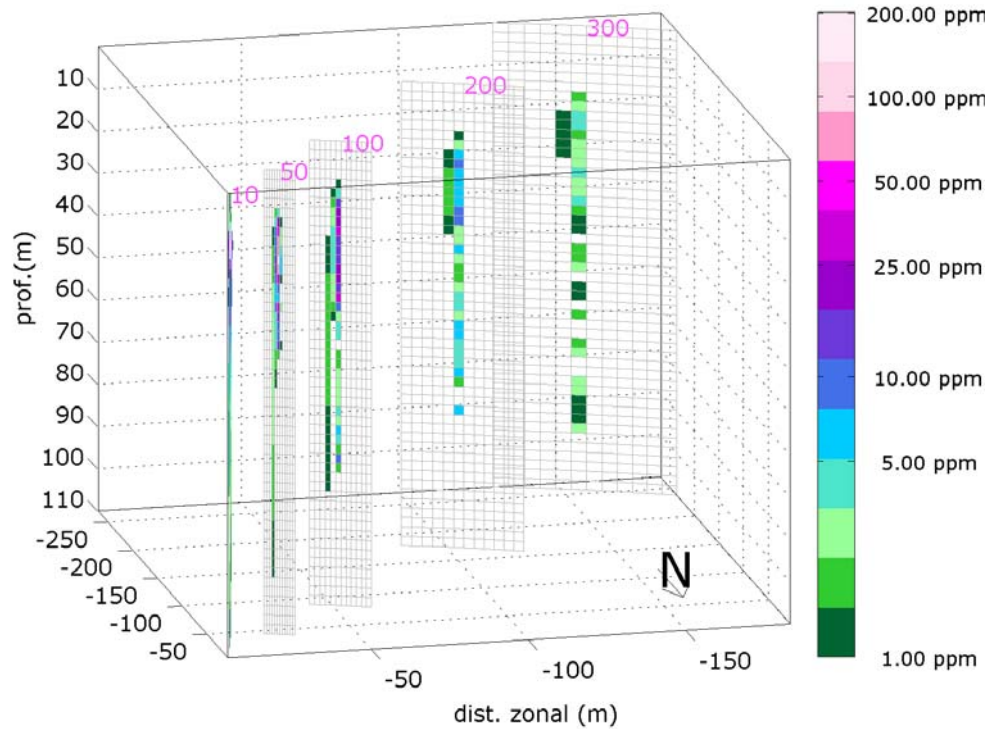


Figura 26: Perfis radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte da SOL_SEC3.

As radiais do descarte SOL_SEC4 podem ser observadas na Figura 27 e os respectivos perfis de concentração, na Figura 28. Neste descarte, a pluma apresenta um comportamento semelhante à seção anterior, entretanto, pode-se observar concentrações superiores a 5 ppm ao longo de toda a coluna d'água até uma distância de 100 m da fonte. Após 200 m a pluma limita-se aos primeiros 50 m da coluna d'água. Com 300 m de distância do ponto de lançamento não são verificados valores acima do limiar.

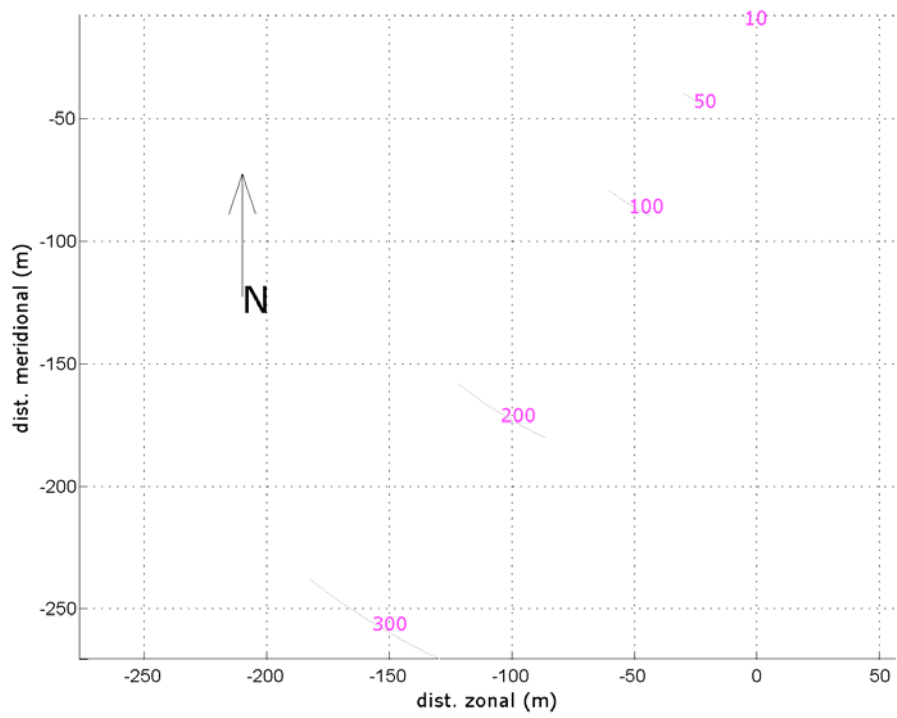


Figura 27: Posicionamento das radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte da SOL_SEC4.

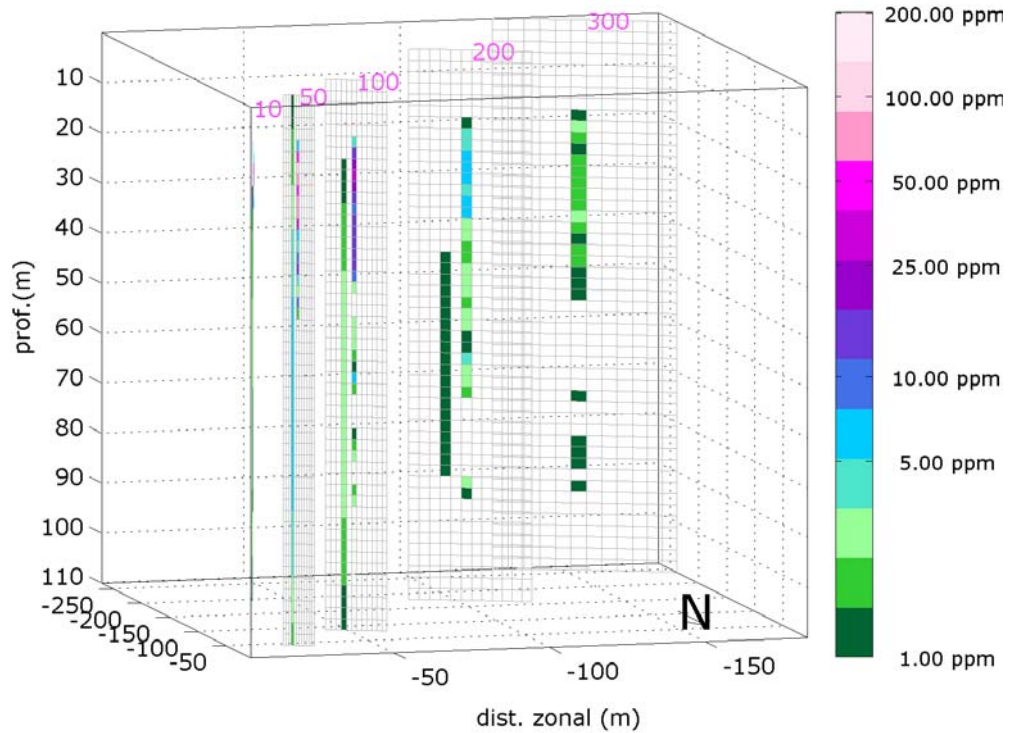


Figura 28: Perfis radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte da SOL_SEC4.

As radiais extraídas no descarte FLU_SEC4 podem ser observadas na Figura 29 (até 500 m), Figura 30 (entre 1000 e 3000 m) e Figura 31 (entre 3500 e 5500 m). Os respectivos perfis de concentração encontram-se na Figura 32, Figura 33 e Figura 34. A pluma formada neste descarte situa-se nos primeiros 40 m de profundidade e apresenta os maiores valores próximo a fonte e com o afastamento desta.

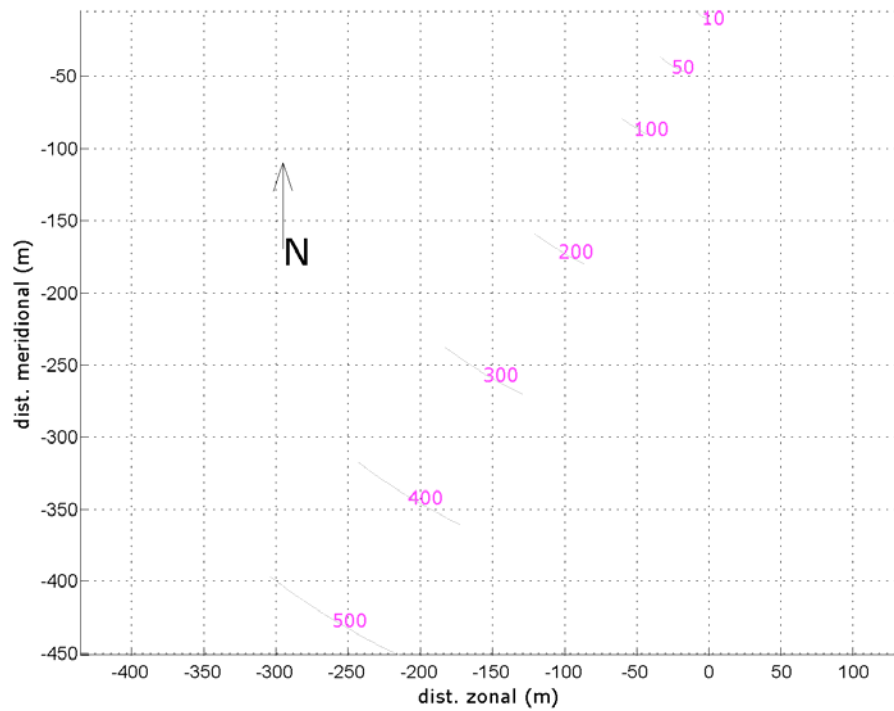


Figura 29: Posicionamento das radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte FLU_SEC_4 (0 a 500 m)

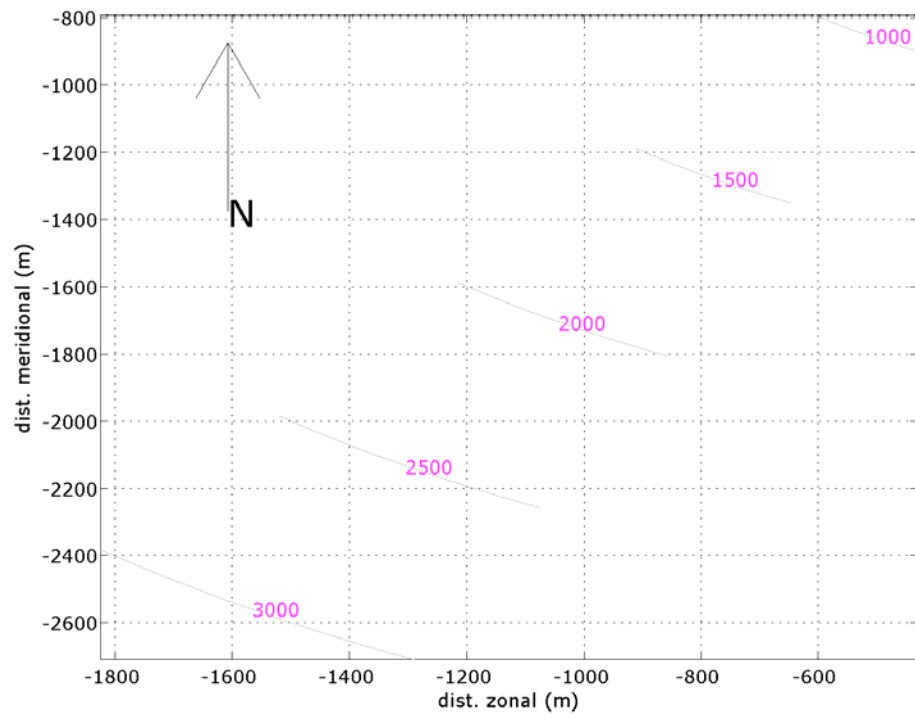


Figura 30: Posicionamento das radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte FLU_SEC_4 (1000m – 3000m).

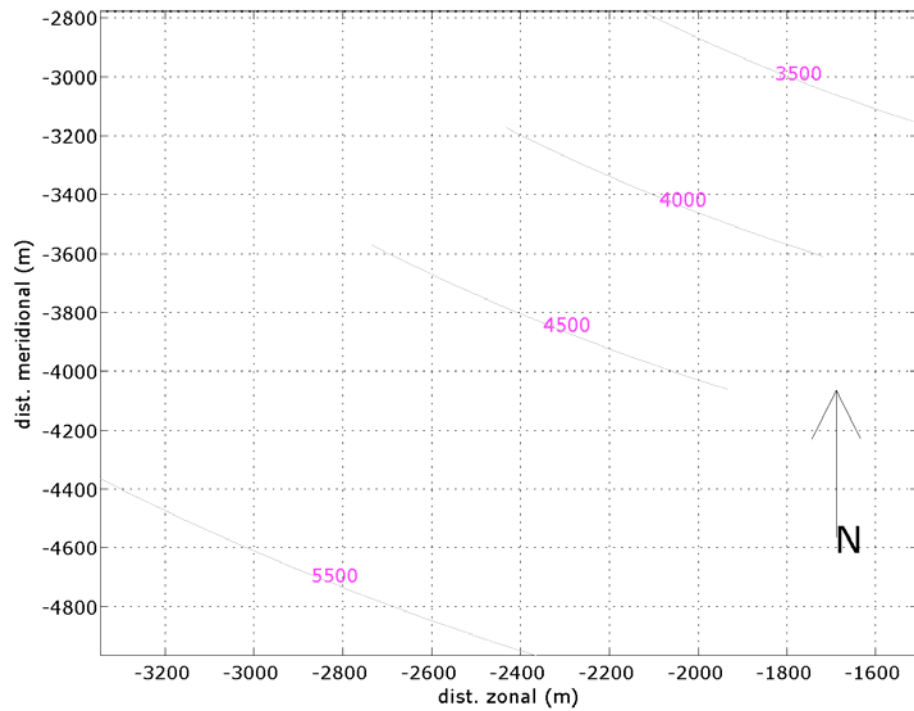


Figura 31: Posicionamento das radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte FLU_SEC_4 (3500 - 5500)

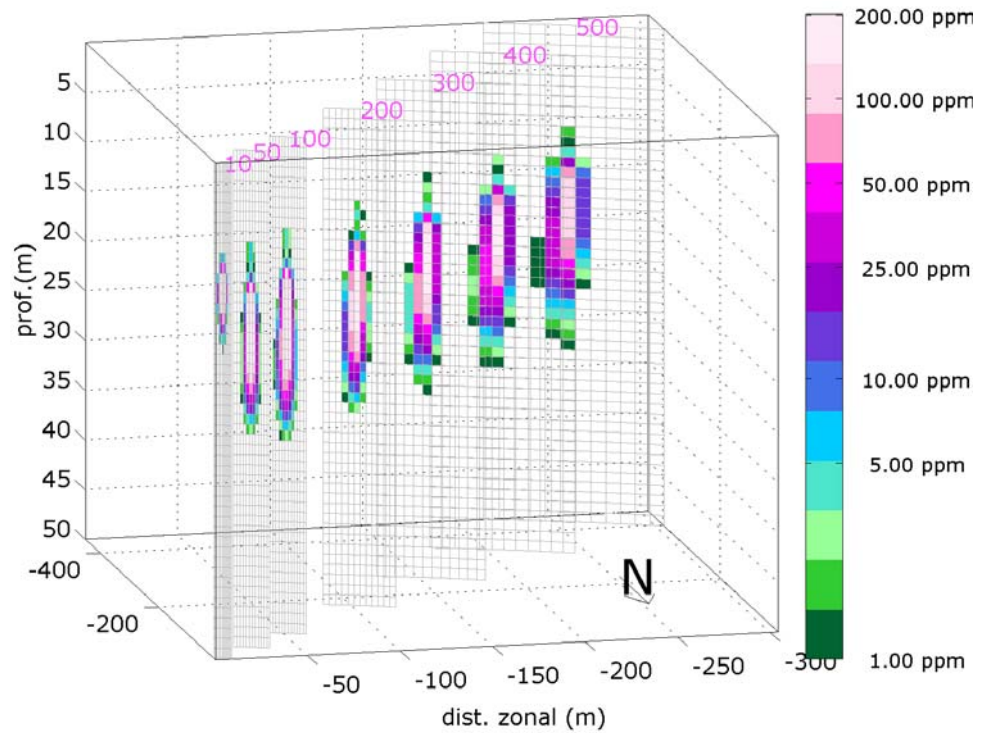


Figura 32: Perfis radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte da FLU_SEC4, da fonte a 500 m.

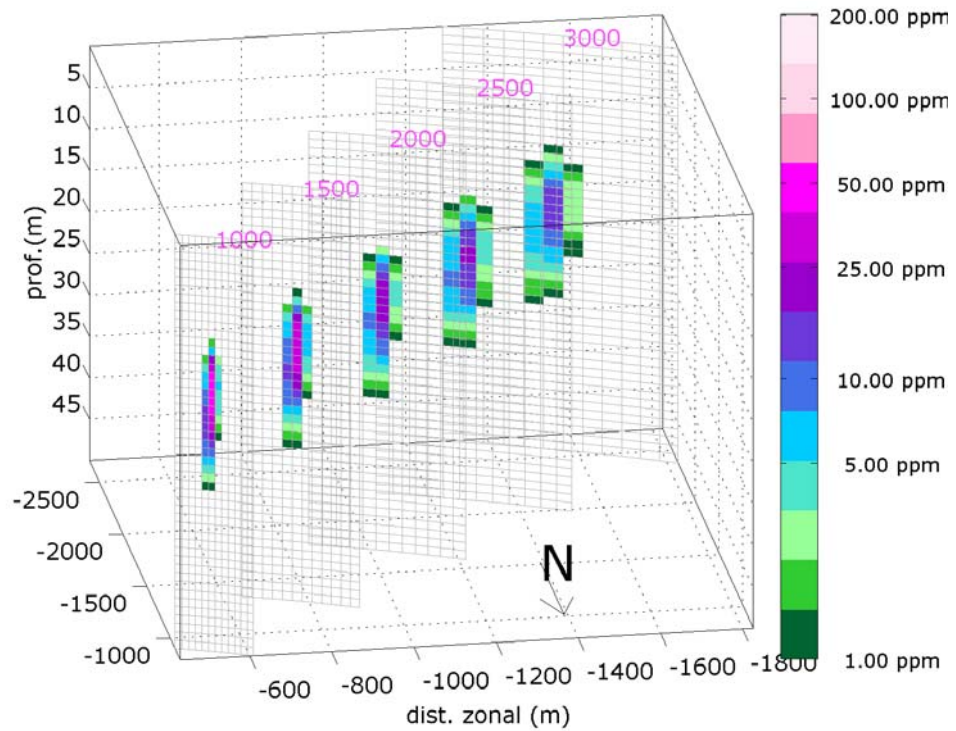


Figura 33: Perfis radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte da FLU_SEC4, de 1000 a 3000 m.

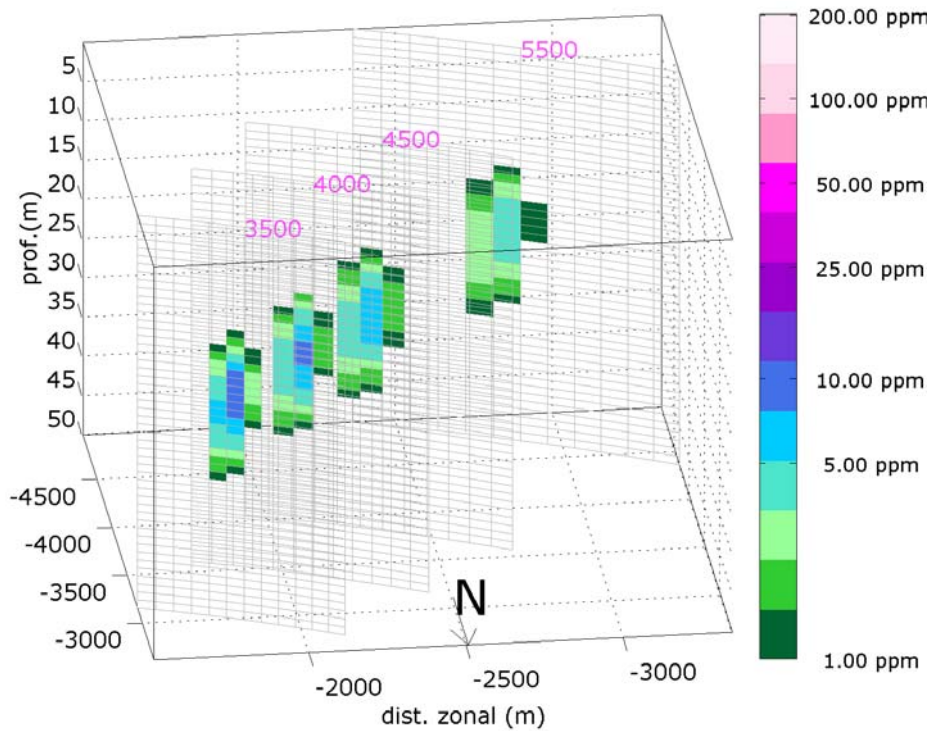


Figura 34: Perfis radiais de concentração de sólidos em suspensão decorrente do descarte da FLU_SEC4, de 3500 a 5500 m.

As concentrações máximas obtidas em cada radial para todas as plumas formadas são apresentadas na **Erro! Auto-referência de indicador não válida.** e na Tabela 20.

Tabela 19: Concentração máxima (ppm) de sólidos em suspensão em cada radial para os descartes de cascalho e fluido aderido.

distância da fonte (m)	SOL_SEC1	SOL_SEC2	SOL_SEC3	SOL_SEC4
10	128,35	241,44	409,97	700,76
50	18,26	21,57	90,12	106,55
100	9,89	12,33	33,04	27,84
200	5,11	6,12	9,76	7,23
300	3,24	3,77	4,95	3,31

Tabela 20: Concentração máxima (ppm) de sólidos em suspensão em cada radial para o descarte de fluido excedente.

distância da fonte (m)	FLU_SEC4
10	2210,61
50	441,04
100	351,41
200	253,89
300	193,15
400	151,90
500	122,57
1000	54,14
1500	34,86
2000	22,68
2500	17,49
3000	13,39
3500	10,26
4000	8,12
4500	7,08
5500	4,84

A maior distância da fonte acima do limiar de 5 ppm é atingida no descarte de fluido excedente da seção 4 (FLU_SEC4). Para conhecer o tempo após o descarte em que a concentração de sólidos em suspensão começa a voltar para os padrões iniciais foi utilizada a mesma metodologia de identificação da estacionariedade.

$$T_{início} = \frac{5000 + 16,17}{0,42} \sim 3,32 \text{ h}$$

$$T_{fim} = \frac{5000 - 16,17}{0,42} + T_{simulado} \sim T_{simulado} + 3,3 \text{ h}$$

Ou seja, a pluma atinge sua distância máxima acima do limiar com 3,32 h após o início do descarte e volta a decrescer com 3,3 h após o fim do mesmo.

VI. CONCLUSÕES

Cinco simulações numéricas foram realizadas para determinar o comportamento do material a ser descartado no mar pela atividade de perfuração do poço Maui no bloco BM-C-39, na Bacia de Campos.

Foram feitas estimativas tanto para o número de sólidos em suspensão na coluna d'água, quanto para o acúmulo destes no leito marinho. Os acúmulos no leito marinho foram calculados em duas diferentes grades, de forma a melhor avaliar tanto a região de maior espessura (grade 2) quanto a área total da deposição (grade 1).

O cenário ambiental utilizado nas modelagens procurou reproduzir as principais características oceanográficas da região do bloco. O acúmulo do material tanto das seções sem *riser* quanto das seções com *riser* se deram sentido oeste. Os resultados apresentados, concordaram com a hidrodinâmica estimada para a região.

A espessura máxima obtida, calculada pela grade 2, foi de 2,31 m e a área coberta pela pilha, estimada com a grade 1, abrange 40.982,57 m². O descarte que mais contribuiu para a espessura resultante foi da seção 2 e, para a área, da seção 3.

Quanto às plumas de sólidos em suspensão, a maior distância foi estimada para o descarte de fluido excedente após a seção 4 (FLU_SEC4). A pluma manteve concentrações acima de 5 ppm até cerca de 5500 m da fonte. Verificou-se que são necessários aproximadamente 3,3 horas, após o término do descarte, para que a concentração a esta distância da fonte volte a diminuir.

VII. BIBLIOGRAFIA

Brandsma, M., & Smith, J., 1999. Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model Report and User Guide. *ExxonMobil Upstream Research Co.*

Melo Filho, E., 1982. Investigação sobre a Análise da Agitação Marítima. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Vilolante-Carvalho, N., 1998. Investigação sobre a Evolução do Clima de Ondas na Bacia de Campos e a Correlação com as Situações Meteorológicas Associadas. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 186p.



Anexo 6-2

Análise de Surgência

Justificativa para a Qualidade de óleo esperada na Área Sul da Bacia de Campos e Surgência

A Bacia de Campos, em sua porção sul, apresenta como principais reservatórios prospectáveis os arenitos do Terciário e do Cretáceo Superior com boa distribuição tanto em área como em espessuras. Observam-se ainda como potenciais objetivos exploratórios os carbonatos do Albiano e seção Aptiano nos andares Alagoas e Jiquiá. A tendência regional para sul é de uma diminuição na qualidade dos óleos, em comparação com as porções centro e norte da Bacia de Campos.

As características dos hidrocarbonetos esperados devem ser similares aos já testados nos Campos de Papa-Terra, Maromba, Guarajuba e Polvo onde os óleos apresentam grau API igual ou inferior a 22. Já para as seções Aptiano e Jiquiá é previsto um óleo de melhor qualidade, sem os problemas de biodegradação presentes na área, entretanto esses dados ainda não estão disponíveis no Banco de Dados de Exploração e Produção – BDEP da Agencia Nacional do Petróleo, Gás Natural e dos Biocombustíveis – ANP, uma vez que os poços que atingiram tais formações geológicas se encontram em período de confidencialidade.

Os cenários para a modelagem de dispersão de óleo foram construídos a partir da análise dos resultados dos testes de avaliação dos poços perfurados nos Campos de Papa-Terra, Maromba, Guarajuba e Polvo, cujas pastas são públicas, ou seja, disponíveis para compra no BDEP. Buscaram-se as características dos óleos e as vazões produzidas durante os testes de formação.

No que diz respeito ao estudo de surgência na área, também foram analisados os relatórios disponíveis dos poços perfurados na Área sul da Bacia de Campos, nos arredores das áreas exploratórias da OGX. Como resultado, verificou-se a ocorrência de intervalos da Formação Carapebus, que apresentaram surgência após estimulação durante os testes de formação do poço pioneiro 1RJS 0125 RJ, perfurado na área do atual Campo de Maromba.

De acordo com os relatórios de testes de avaliação constantes na pasta de poço 1RJS 0125 RJ, os intervalos entre as profundidades de 2390 a 2404 e 2449 a 2457 m tiveram a surgência induzida com a aplicação de um colchão de óleo diesel até a superfície, sendo pressurizado com 130 psi na cabeça do poço, abrindo-se o poço em seguida com pequena abertura.

Os resultados dos testes de formação foram: (i) para o intervalo entre 2390 e 2404m, a vazão em tanque foi de 7,6 m³/ dia e o °API do óleo igual a 5,5 e; (ii) para o intervalo entre as profundidades de 2449,0 e 2457,0 m o óleo apresentou alta viscosidade e ótima permeabilidade (Ke=17.972 mD), Índice de Produtividade (IP) igual a 4,3412 m³/d/kgf/cm², vazão em tanque de 108,4 m³/ dia, °API = 9, Pressão Externa = 258,76 kgf/cm² e Pressão de Fluxo = 233,79 kgf/cm².

Em função das características físicas dos reservatórios dos campos descobertos no entorno das áreas da OGX e das características dos fluidos neles contidos, os quais apresentam, em geral, baixo grau API e alta viscosidade, a ocorrência de intervalos geológicos que apresentem características de reservatórios surgentes ocorre em caráter excepcional nesta porção da Bacia de Campos.

Apesar da previsão da ocorrência de óleos de melhor qualidade (em torno de 30°API), nas seções do Aptiano e Jiquiá, além de níveis mais elevados de pressão em função da profundidade desses intervalos (no caso do poço Honolulu localizados a cerca de 4200m de profundidade), destaca-se que a própria profundidade do reservatório constitui um fator limitante tanto para a surgência quanto para implantação de um sistema de produção e escoamento de petróleo.



Anexo 6-3

Modelagem de Óleo



RELATÓRIO TÉCNICO [REV. 00]

MODELAGEM HIDRODINÂMICA
Bloco BM-C-39

Preparado para:
HABTEC

Preparado por:
Maurício da Rocha Fragoso
Leandro Calil

30 de julho de 2008

PROOCEANO

AV. RIO BRANCO, 311 / 1224 CENTRO
CEP 20.0040-009 RIO DE JANEIRO RJ
TEL | FAX +55 21 2532-5666
WWW.PROOCEANO.COM.BR

RELATÓRIO TÉCNICO [REV.00]

MODELAGEM HIDRODINÂMICA
Bloco BM-C-39

Preparado para:
HABTEC

Preparado por:
Maurício da Rocha Fragoso
Leandro Calil

30 de julho de 2008

ÍNDICE:

I. INTRODUÇÃO.....	4
I.1. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS	4
<i>I.1.1. Circulação Superficial.....</i>	<i>5</i>
<i>I.1.2. Circulação Intermediária</i>	<i>7</i>
<i>I.1.3. Circulação Profunda</i>	<i>8</i>
<i>I.1.4. Vórtices e Meandros</i>	<i>9</i>
II. MODELO NUMÉRICO UTILIZADO	10
III. DOMÍNIO DO MODELO	14
IV. Condições de Contorno	26
IV.1. Condição de Contorno de Fundo	27
IV.2. Condição de Contorno de Superfície	28
IV.3. Condição de Contorno Lateral	34
<i>IV.3.1. Elevação do Nível do Mar</i>	<i>34</i>
<i>IV.3.2. Correntes</i>	<i>34</i>
<i>IV.3.3. Temperatura</i>	<i>34</i>
V. RESULTADOS.....	34
V.1. Avaliação do Modelo	34
<i>V.1.1. Transporte de Volume</i>	<i>34</i>
<i>V.1.2. Estrutura Termohalina</i>	<i>34</i>
<i>V.1.3. Campos de Corrente</i>	<i>34</i>
VI. CONCLUSÕES.....	34
VII. BIBLIOGRAFIA.....	34

I. INTRODUÇÃO

Para simular o transporte de qualquer material no oceano é necessário conhecer o comportamento das correntes marinhas da região em questão. Para tal, pode-se recorrer à técnica conhecida como fluidodinâmica computacional, que consiste em reproduzir o comportamento de fluidos em resposta às forçantes atuantes no meio, através da solução numérica das equações que governam os processos envolvidos. Com isso, podem ser obtidos resultados sinóticos e sob diferentes condições de contorno e iniciais, como por exemplo, condições de verão e inverno, de maré de sizígia e quadratura etc.

A capacidade de simular diferentes condições, aliada à obtenção de resultados sinóticos em quatro dimensões (as três do espaço e o tempo), faz da fluidodinâmica computacional uma opção interessante, e em determinados casos, como em regiões com pouca ou nenhuma medição, a única para obter os resultados necessários à modelagem de transporte de materiais no oceano. É imprescindível, no entanto, a realização de comparações dos resultados obtidos pelo modelo hidrodinâmico com dados observados na região, para se ter uma medida da representatividade do modelo em relação ao observado.

Esse relatório apresenta a descrição da simulação hidrodinâmica e seus resultados, utilizados nas modelagens de transporte de óleo para o Bloco BM-C-39.

I.1. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS

A circulação oceânica da região do Bloco BM-C-39 está sob a influência do giro subtropical do Atlântico Sul, que faz parte da circulação de grande escala que ocorre nas bacias dos oceanos mundiais (Peterson & Stramma, 1991). Trata-se de uma circulação complexa, que apresenta variações ao longo da coluna d'água e para um mesmo nível de profundidade pode apresentar intensidades e sentidos diferentes, dependendo da posição geográfica. Na

Figura 1 pode ser observada a localização do Bloco BM-C-39.

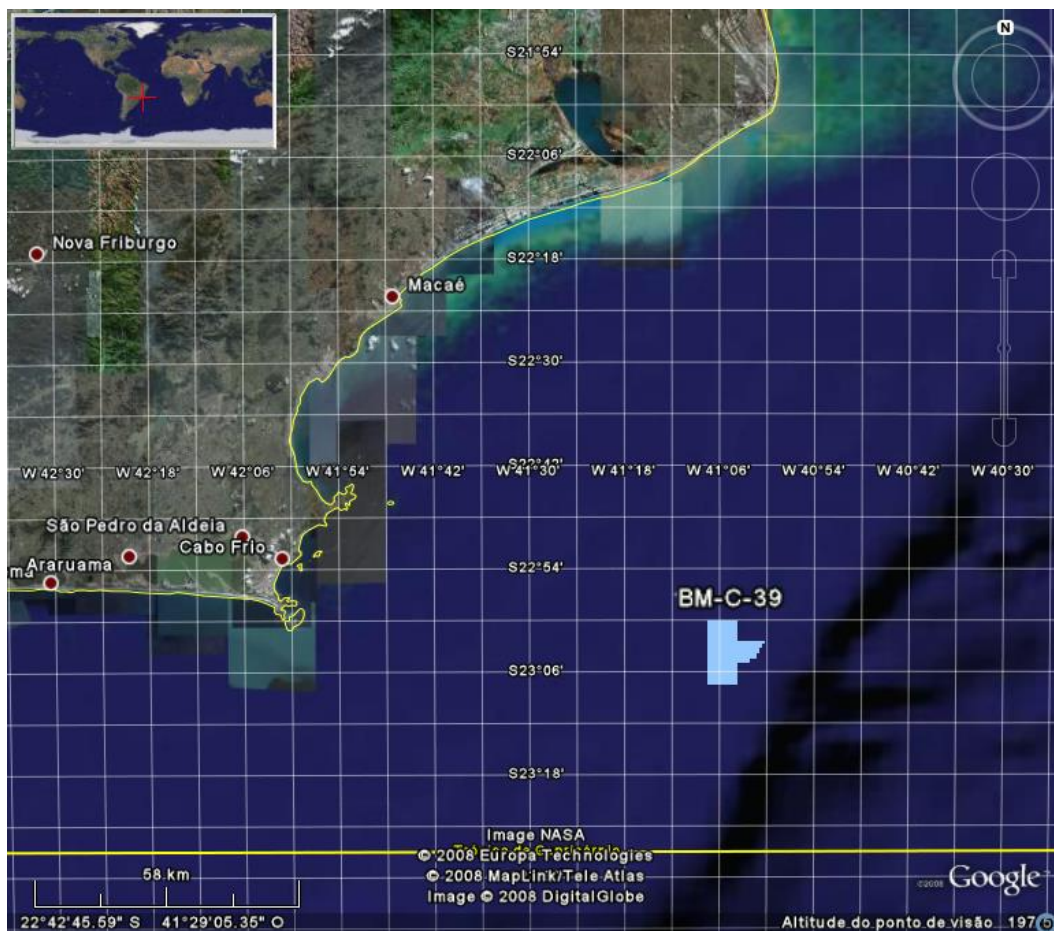


Figura 1: Localização do Bloco BM-C-39.

A circulação oceânica da região pode ser dividida em superficial, intermediária e profunda. Existem poucas medições diretas das correntes e as estimativas sobre a circulação são, em sua maioria, realizadas a partir de dados hidrográficos, o que em primeiro lugar já filtra as variações temporais e pode ainda gerar imprecisões. Mesmo os esforços empreendidos pelos pesquisadores ao longo de todos esses anos não são suficientes para se obter um conhecimento mais aprofundado sobre a circulação dessa região e alguma controvérsia ainda existe, principalmente em relação às circulações intermediária e profunda.

1.1.1. Circulação Superficial

A circulação superficial da Baía de Campos é dominada pela Corrente do Brasil (CB). Apesar de ser creditado a Isaaci Vossius o primeiro reconhecimento e descrição da Corrente do Brasil em 1663 no seu "Tratado Sobre o Movimento dos Mares e Ventos", foi James Rennell em 1832 quem detalhou e até mesmo nomeou a Corrente do Brasil. Além disso, foi

o primeiro a determinar que a CB era mais fraca do que a Corrente Norte do Brasil (Peterson et al., 1996).

A CB faz parte do giro subtropical do Atlântico Sul (Peterson & Stramma, 1991) e é formada a partir da bifurcação da Corrente Sul Equatorial, que ocorre entre as latitudes de 5 a 10o S (Figura 2). Trata-se de uma Corrente de Contorno Oeste que desempenha o mesmo papel que a Corrente do Golfo, transportando águas quentes e salinas do Equador em direção aos pólos. Entretanto, ao contrário de sua similar do Atlântico Norte, foram realizadas muito poucas medições utilizando correntômetros (Lima, 1997). Outra diferença da CB em relação à Corrente do Golfo é sua menor intensidade. Uma explicação possível foi realizada por Stommel (1965, apud Calado, 2000), que aponta a oposição de sentido da componente termohalina em relação ao transporte gerado pelo vento, que se somam na Corrente do Golfo, como uma possível explicação para esse fato.

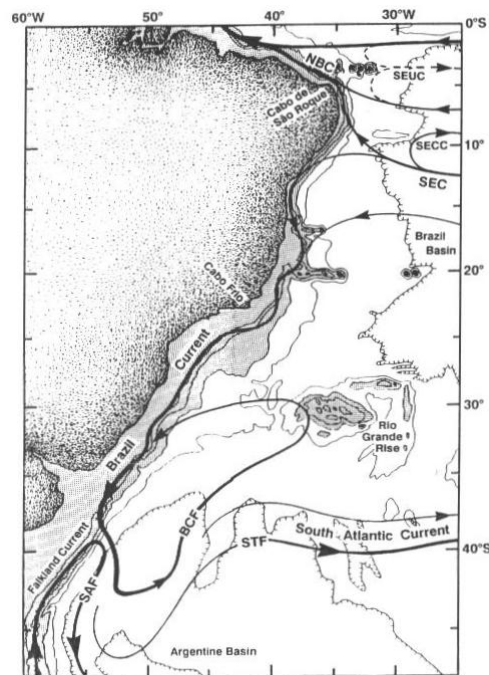


Figura 2: Esquema da circulação superficial do atlântico sudoeste. Fonte: Silveira et al., (2000).

A CB, desde sua origem até a Confluência Brasil-Malvinas, apresenta fluxo predominante para sul/sudoeste, ocupando a troposfera oceânica (primeiros 500 m de profundidade), fluindo sobre a quebra da Plataforma Continental. Garfield (1990, apud Lima, 1997), indica que a posição média da frente da CB é muito próxima à quebra da plataforma associando à isohalina de 36 para locais a leste de 45° W.

Próximo à latitude de 20,5° S, a CB se depara com a cordilheira submarina Vitória-Trindade e flui preferencialmente através da passagem mais próxima à costa, embora esse

fluxo seja pouco documentado (Castro & Miranda, 1998). Stramma et al. (1990 apud Castro & Miranda, 1998) mostram que entre 16 e 19° S a parte mais a oeste da BC flui para sul longe da costa, ao largo da isóbata de 3000 m. Próximo à cadeia, a velocidade da corrente é de 0,5 a 0,6 m/s com transportes entre 3,8 a 6,8 Sv (Evans et al., 1983). Valores maiores, 9,4 Sv, foram encontrados por Schmid et al. (1995).

A partir desta latitude, a corrente adquire caráter meandrante e se intensifica (Silveira et al., 2000). Lima (1997), utilizando medidas obtidas por correntômetros ao longo de uma ano na região do Cabo de São Tomé (22o S), estimou a transporte de volume como possuindo valor médio de $5,5 \pm 2,6$ Sv e moda de 6,5 Sv, concordando com as estimativas de Peterson & Stramma, (1991). A velocidade em superfície ao largo de Cabo Frio é em torno de 0,5 m/s e o transporte é da ordem de 9 Sv (Signorini, 1978), sendo que mais da metade do fluxo é confinado aos primeiros 200 metros de coluna d'água (Silveira et al., 2000). Ao sul de Cabo Frio, a CB se intensifica a uma taxa de 5% a cada 100km (Gordon & Greeengrove, apud Castro & Miranda, 1998).

1.1.2. Circulação Intermediária

A circulação intermediária, entre as profundidades de 400 e 1500m está associada ao fluxo da Água Intermediária Antártica (AIA). O padrão de circulação da AIA (Figura 3) ainda gera alguma polêmica entre os pesquisadores, porém a teoria mais aceita parece ser a de que a AIA seria formada na Convergência Antártica fluindo para níveis intermediários indo em direção ao norte até a região da confluência Brasil-Malvinas (~38°S), onde seguiria em direção ao leste como parte de uma recirculação mais profunda associada ao Giro Subtropical. Esta fluiria então anticiclonicamente e ao sul da latitude de 25° S, atingiria novamente a costa do Brasil, bifurcando-se e seguindo parte em direção ao Equador e parte fluindo para sul ao longo da costa, com o eixo da divergência paralelo ao talude entre as latitudes de 27° S e 28° S (Silveira et al., 2000).

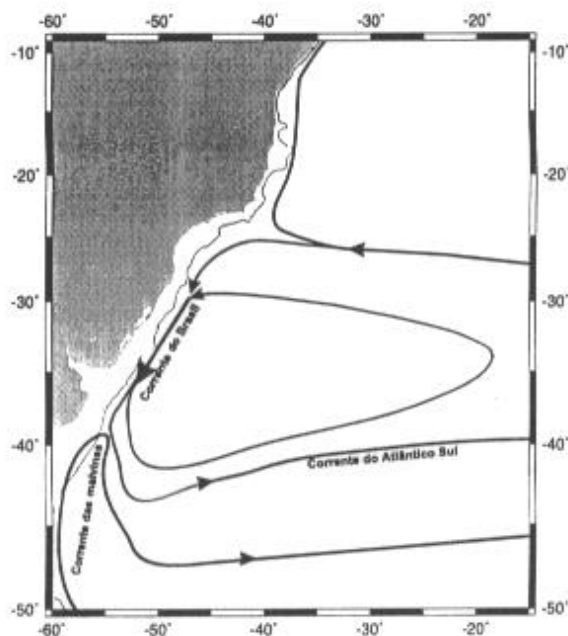


Figura 3: Esquema da circulação intermediária no atlântico sudoeste. Fonte: Silveira et al., (2000).

A parte da AIA que flui para norte foi medida por Evans & Signorini (1985) entre 23 e 20,5° S e na latitude de 11° S (Speer et al., 1996 apud Lima, 1997). Tal fluxo foi denominado por Boebel et al., (1999, apud Silveira et al., 2000) de Corrente de Contorno Oeste Intermediária. Lima (1997) também indica a existência desse fluxo permanente utilizando dados medidos por correntômetros no período de um ano na Bacia de Campos. Esse autor o denominou de Contra-Corrente do Brasil Intermediária, atribuindo a ele um transporte de 5.1 ± 2.8 Sv e uma extensão vertical de 1100 m, estando presente entre as profundidades de 400 e 1500m.

1.1.3. Circulação Profunda

Abaixo da AIA encontra-se a APAN (Figura 4), que ocupa níveis entre 1500 e 3000m e é formada no Atlântico Norte no mar da Groenlândia. É consenso na literatura que a APAN se apresenta como um fluxo organizado fluindo para o sul ao longo do contorno oeste até cerca de 32° S, onde ao menos uma parte da corrente retorna em direção ao equador (Silveira et al., 2000).

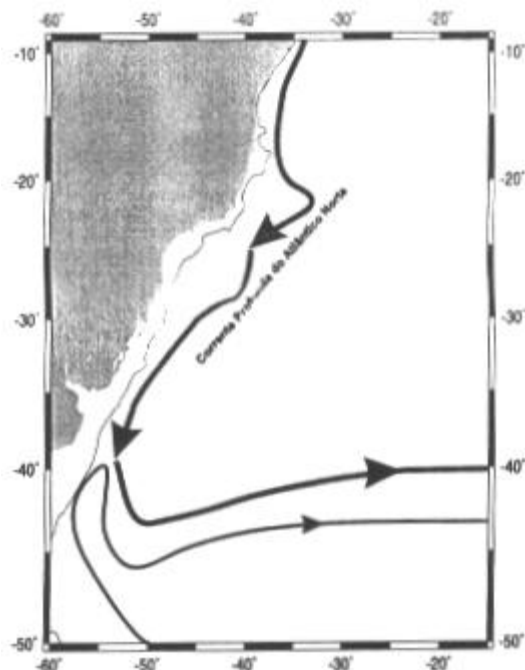


Figura 4: Esquema da Circulação Profunda no Atlântico Sudoeste. Fonte: Silveira et al. (2000).

1.1.4. Vórtices e Meandros

Os fenômenos transientes da Corrente do Brasil são fatores bastante relevantes de sua dinâmica, sendo primeiro observados no final da década de 1950 (DHN, 1969). Apesar da Corrente do Brasil apresentar transporte inferior ao de outras correntes de contorno oeste, possui muitos vórtices e meandros (Calado, 2000). Essas feições oceanográficas representam um desafio à previsão oceânica, uma vez que sua variabilidade espaço-temporal irá acrescentar um alto grau de variabilidade na circulação local, o que contribui para uma menor precisão das previsões de curto e médio período.

Segundo Silveira et al. (2000), uma das primeiras descrições de meandros e vórtices da CB foi realizada por Mascarenhas e colaboradores (1971), que descreveram a presença de vórtices e meandros ciclônicos e anticiclônicos ao largo de Cabo Frio utilizando mapas de topografia dinâmica. Eles especulam que as feições topográficas da região favoreceriam a geração destes vórtices e meandros. Signorini (1978) apud Silveira et al. (2000) observou um vórtice com cerca de 100 km de raio em região de águas profundas (>1000m) com extensão vertical de 500 m ao norte de Cabo Frio, realizando análise dinâmica em dados hidrográficos. Campos (1995 apud Silveira et al., 2000) atribui a ocorrência destes fenômenos transientes à mudança de orientação da costa a partir de Cabo Frio e ao gradiente de batimetria, já que a plataforma ao norte de Cabo Frio é estreita e se torna mais larga e suave na Bacia de Santos. Assim, a CB que flui ao longo da quebra da plataforma, por inércia, dirigir-se-ia em direção às águas mais profundas na latitude de Cabo Frio. Utilizando o princípio de conservação de vorticidade potencial, o autor mostra que a CB iria meandrar ciclonicamente. Evidências de meandros e vórtices ciclônicos e

anticiclônicos foram também detectados em imagens de satélite, sugerindo que o início da atividade ciclogênica pode ocorrer ao largo do Cabo de São Tomé (22°S).

II. MODELO NUMÉRICO UTILIZADO

Para as simulações hidrodinâmicas da região do Bloco BM-C-39 foi utilizado o modelo conhecido como Princeton Ocean Model - POM (Blumberg & Mellor, 1987). O POM é um modelo numérico hidrodinâmico não-linear, de equações primitivas, com superfície livre, tridimensional, de diferenças finitas, projetado para simular correntes costeiras e oceânicas. O tratamento dos efeitos turbulentos é realizado com o modelo de fechamento turbulento de segunda ordem, nível 2.5 de Mellor & Yamada (1982), o que permite uma representação mais realística das camadas de Ekman de superfície e de fundo (Blumberg & Mellor, 1987). Como este modelo foi projetado para incluir os efeitos decorrentes de profundidades irregulares, o sistema de coordenadas cartesianas é modificado com a introdução do conceito da coordenada generalizada sigma, no qual a coordenada vertical z , orientada no sentido contrário à aceleração da gravidade, é substituída pela coordenada sigma (σ), que tem como referência, ao mesmo tempo, o fundo e a superfície livre do mar. Os modelos de coordenada sigma, ou "seguidores-de-terreno" são especialmente adequados em regiões com topografia de fundo variável e nas quais os processos de interação com a camada-limite de fundo são importantes. A principal atração de tais modelos reside na representação suave da topografia e em sua habilidade em simular as interações entre o fluxo e a batimetria (Ezer et al., 2002). A transformação de z para sigma é realizada conforme indicado a seguir:

$$\sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta} \quad \text{II.1}$$

onde η é a elevação da superfície livre e H é a profundidade local. Assim, σ varia de 0, na superfície, a -1, no fundo. Desta maneira, o modelo consegue representar bem os efeitos do relevo de fundo e do contorno de costa sobre a circulação (Figura 5), o que é importante quando se está modelando regiões onde ocorra variações topográficas significativas.

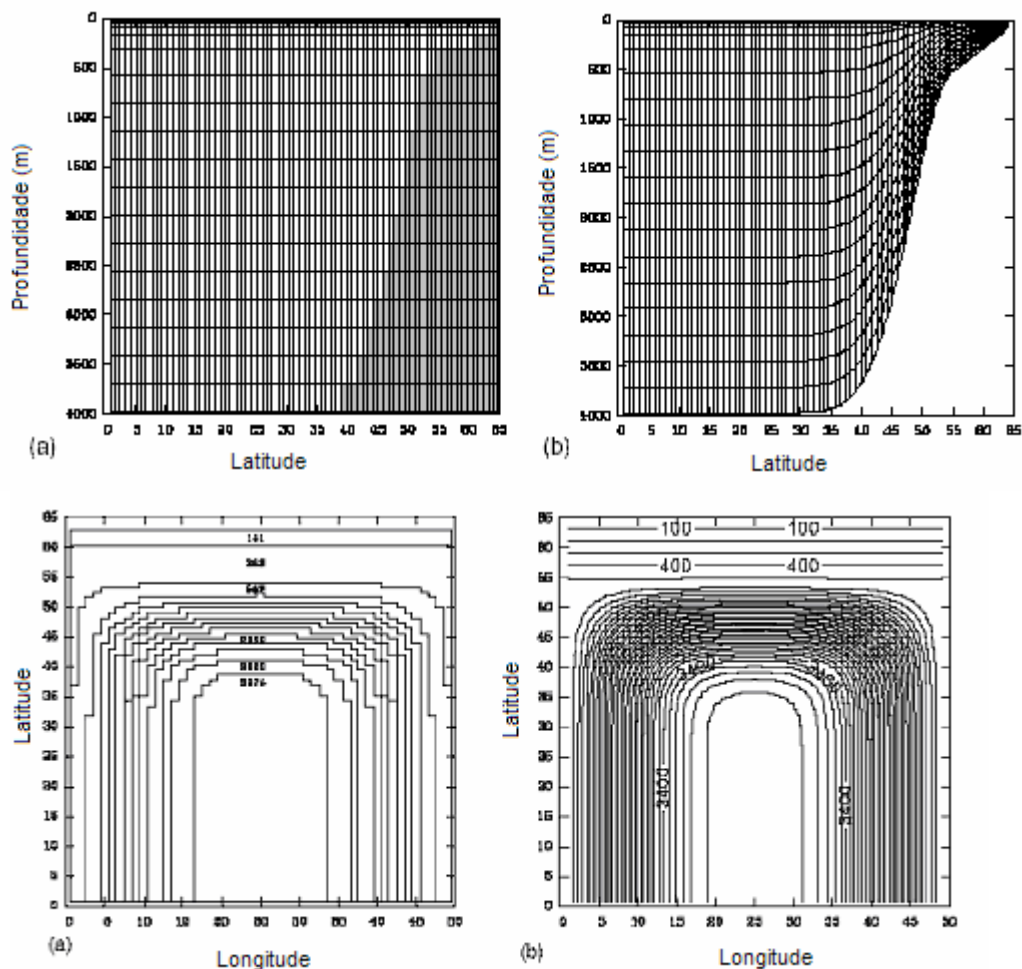


Figura 5: Representação da topografia de fundo em perfil (painel superior) e em planta (painel inferior) em grades com coordenada vertical cartesiana Z (a) e coordenada vertical sigma (b). Fonte: Ezer & Mellor, (2004).

O POM é portanto, um modelo adequado para simular as correntes em baías, estuários, regiões costeiras, Plataforma Continental e bacias oceânicas como pode ser visto nos artigos que tratam das simulações em regiões de oceano profundo (Ezer & Mellor, 1994; Gan *et al.*, 1998; Ezer, 2001).

O conjunto de equações governantes do POM é formado pelas equações primitivas do movimento, fazendo uso das aproximações de Boussinesq, plano β e hidrostática. Referenciando-se a um sistema de coordenadas cartesianas ortogonais com valores positivos de x no sentido leste e de y no sentido norte e realizando a transformação para coordenada sigma, tem-se o conjunto de equações básicas utilizadas pelo POM (Mellor, 2004).

Equação da continuidade:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad \text{II.2}$$

Equação da conservação da quantidade de movimento na direção zonal:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial U^2}{\partial x} + \frac{\partial UV}{\partial y} + \frac{\partial U\omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^{\sigma'} \left[\frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] \quad \text{II.3}$$

Equação da conservação da quantidade de movimento na direção meridional:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial UV}{\partial x} + \frac{\partial V^2}{\partial y} + \frac{\partial V\omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^{\sigma'} \left[\frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial y} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + F_y \quad \text{II.4}$$

Equação da conservação de calor:

$$\frac{\partial \theta D}{\partial t} + \frac{\partial \theta UD}{\partial x} + \frac{\partial \theta VD}{\partial y} + \frac{\partial \theta \omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma} \right] + F_{\theta} - \frac{\partial R}{\partial z} \quad \text{II.5}$$

Equação da conservação de sal:

$$\frac{\partial S D}{\partial t} + \frac{\partial S U D}{\partial x} + \frac{\partial S V D}{\partial y} + \frac{\partial S \omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right] + F_S \quad \text{II.6}$$

Equação de estado da água do mar:

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

Nestas equações $D = H + \eta$, U e V são os componentes zonal e meridional da velocidade, respectivamente, f é o parâmetro de Coriolis, g é a aceleração da gravidade, ρ é a densidade, ρ_0 é a densidade de referência, ρ' é a anomalia de densidade, θ é a temperatura potencial, S é a salinidade, K_M é o coeficiente de viscosidade cinemática

vertical, KH é o coeficiente de difusão de calor vertical, $\partial R / \partial z$ é o termo de fluxo de calor radiativo e ω é a velocidade vertical transformada, correspondente à componente de velocidade normal às superfícies sigma. Essa transformação se dá segundo:

$$W = \omega + U \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) + V \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) + \sigma \frac{\partial D}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial \sigma} \quad \text{II.8}$$

Os termos F_x , F_y , F_θ e F_s (atrito turbulento) são os chamados termos sub-grade, ou seja, com resolução menor do que a grade, sendo então necessárias parametrizações para resolvê-los (Calado, 2000), representadas nas equações **II.9** a **II.10**.

$$F_x = \frac{\partial}{\partial x} \left[2A_M \frac{\partial U}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \quad \text{II.9}$$

$$F_y = \frac{\partial}{\partial x} \left[A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[2A_M \frac{\partial V}{\partial x} \right] \quad \text{II.10}$$

$$F_{s,\theta} = \frac{\partial}{\partial x} \left[A_H \frac{\partial (S,\theta)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_H \frac{\partial (S,\theta)}{\partial y} \right] \quad \text{II.11}$$

O termo A_M é resolvido utilizando a solução de Smagorinsky:

$$A_M = C \Delta x \Delta y \left[\left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad \text{II.12}$$

Onde C é a constante de Smagorinsky e A_H é o coeficiente de difusão de calor horizontal.

Esse conjunto de equações é resolvido utilizando-se uma diferenciação centrada no tempo e no espaço, também conhecida como Leap-frog, que é capaz de resolver apropriadamente os processos altamente dependentes do tempo e não-lineares (Blumberg

& Mellor, 1987). O POM faz uso da técnica de separação de modos (mode splitting), na qual as equações do movimento são separadas em modo externo (ou barotrópico) e modo interno (ou baroclínico), permitindo que sejam utilizados intervalos de tempo (t) diferentes na integração do modelo. O intervalo de tempo para o modo interno pode ser bem maior do que a do modo externo, já que a velocidade da onda interna é bem menor do que a externa.

Assim, essa técnica propicia uma economia significativa de tempo de processamento ao mesmo tempo que não compromete a estabilidade do modelo, satisfazendo a condição de Courant-Friedrichs-Levy (CFL).

O sistema de coordenadas horizontal utiliza coordenadas ortogonais curvilíneas, que permite resolução variável de grade e o esquema de diferenciação aplicado é o conhecido como grade C de Arakawa. A linguagem de programação utilizada na versão oficial do modelo é Fortran77.

O grupo de usuários registrados do POM é constituído por mais de dois mil pesquisadores de dezenas de países, que já publicaram quase 700 artigos com aplicações do modelo para estudos da circulação em estuários, regiões costeiras, e oceano aberto, enfocando fenômenos de pequena escala até grande escala e com escalas temporais da ordem de horas até escalas sazonais.

III. DOMÍNIO DO MODELO

O domínio do modelo (Figura 6) compreende a região entre as latitudes de 10° e 27° S e entre as longitudes de $32,5^{\circ}$ e 50° W. Possui extensão de cerca de 1890 km por 1945 km, comparável ao Raio de Deformação de Rossby externo (da ordem de 1000 km para a região). Foi escolhido de maneira a poder representar a maior parte da energia e da dinâmica da CB e também para que os contornos abertos da grade pudessem ficar longe o suficiente da área de maior interesse. A distância entre qualquer das três fronteiras abertas (sul, leste e norte) e o Bloco BM-C-39 é sempre maior do que 200 km.

A resolução espacial escolhida para o POM foi de 5 minutos de arco (aproximadamente 9 km). Essa resolução é refinada o suficiente para capturar os fenômenos oceanográficos de mesoescala, responsáveis por mais de 99% da energia cinética dos oceanos (Munk, 2002). O Raio de Deformação de Rossby Interno (R_i) na região foi calculado para comparar a escala dos fenômenos baroclínicos de mesoescala com a resolução horizontal do modelo. O cálculo do R_i pode ser realizado através da seguinte formulação (Le Blond & Mysak, 1978):

$$R_i = \frac{\sqrt{g'/h_e}}{f} \quad \text{III.1}$$

onde f é o parâmetro de Coriolis, g' é a gravidade reduzida dada por:

$$g' = g * \left(\frac{\Delta \rho}{\rho 2} \right) \quad \text{III.2}$$

onde $\Delta\rho$ é a variação de densidade ($\rho_2 - \rho_1$) entre as camadas.

e h_e é a profundidade equivalente dada por:

$$h_e = \frac{(h_1 * h_2)}{(h_1 + h_2)} \quad \text{III.3}$$

onde h_1 é a espessura da primeira camada e h_2 da segunda.

Efetando o cálculo para valores típicos da região, onde considera-se a latitude de 23° S para f , a espessura de 400 m para h_1 (camada contendo o transporte a Corrente do Brasil (Lima, 1997)), 800 m para h_2 (camada contendo o transporte da AIA (Lima, 1997)) e os valores de densidade obtidos a partir da temperatura e salinidade dessas camadas, encontramos um R_i de cerca de 25 km. Assim, o espaçamento de grade horizontal do modelo é, aproximadamente, três vezes menor do que o Raio de Deformação de Rossby Interno da região. Quando a resolução horizontal de um modelo numérico é similar ao R_i , pode-se considerá-lo como eddy permitting, ou eddy resolving (Stevens & Johnson, 1997), ou seja, capaz de resolver os vórtices de mesoescala. Pode-se afirmar então que o modelo numérico em questão possui resolução horizontal adequada para receber as condições de contorno e iniciais impostas e capacidade de representar todos os fenômenos oceanográficos relevantes.

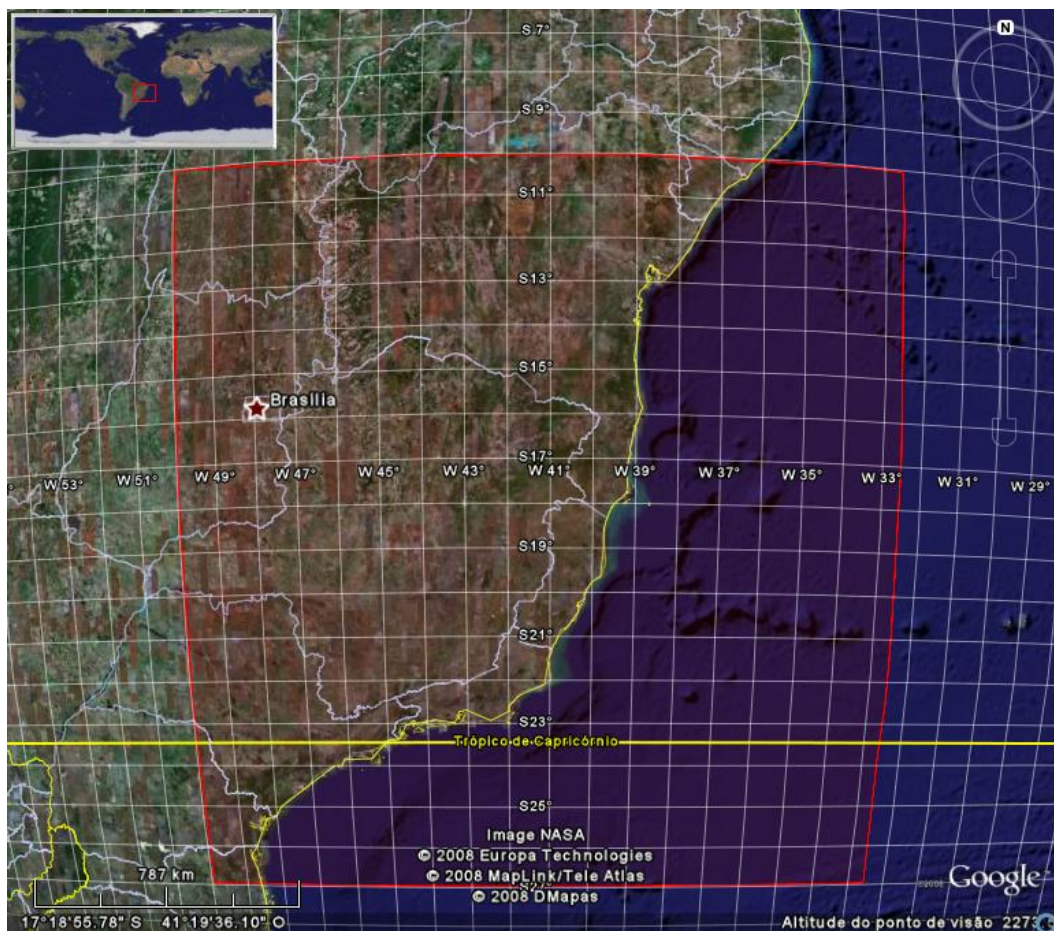


Figura 6: Domínio do modelo hidrodinâmico.

A situação ideal para se inicializar um modelo seria obter-se dados de temperatura e salinidade em cada ponto de grade (nas três dimensões), observados simultaneamente, o que é inviável. Desta forma, deve-se procurar uma alternativa, como a obtenção de informações de bancos de dados que contenham o máximo de observações simultâneas com a resolução mais próxima à grade do modelo em questão. Isso nos traz à escolha dos dados de condição inicial do modelo do BM-C-39. Existem alguns bancos de dados que contêm informações de temperatura e salinidade em todo o globo e muitos com informações sazonais ou mensais. Os dados disponíveis são resultantes da aplicação de técnicas de Análise Objetiva aos dados obtidos de variadas fontes como navios, bóias, satélites e fundeios. Com isso, obtêm-se matrizes de dados globais em várias profundidades e tempos. Dentre esses bancos de dados, podemos citar o Levitus do Centro Nacional de Dados Oceanográficos dos Estados Unidos (National Oceanographic Data Center - NODC) como exemplo. Os dados de temperatura e salinidade são disponibilizados sem custo ao público através da Internet em matrizes cuja mínima resolução espacial é de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ (cerca de 110×110 km).

Para o caso do BM-C-39, optou-se pela utilização dos dados gerados pelo modelo de circulação oceânica global MOM (Modular Ocean Model), desenvolvido pelo Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL / NOAA), da Universidade de Princeton para representar o estado inicial. O MOM é um modelo formulado matematicamente pelas equações primitivas completas, escritas em coordenadas esféricas, que utilizam as aproximações hidrostática e de Boussinesq e que simula as correntes em todo o globo. Os dados do MOM mostraram-se como uma alternativa mais atraente, pois o modelo utiliza os campos Levitus para sua inicialização, realizando também assimilação de dados ao longo da rodada e, além disso, está em balanço com as correntes que servirão de condição de contorno para o POM.

Outro fator importante que levou à escolha dos dados do MOM é a grande base de dados disponível na rede (<http://data1.gfdl.noaa.gov/nomads/forms/assimilation.html>). Essa base possui 20 anos de resultados do MOM, com médias mensais de vários parâmetros (entre eles temperatura, salinidade e as componentes u e v da velocidade) para os anos de 1981 a 2000, com resolução zonal e meridional de 1° (aproximadamente 110 km), possuindo 40 níveis de profundidade (da superfície até 4400 m). Tais dados são os resultados do experimento denominado Ocean Data Assimilation Experiment, conduzido por várias instituições americanas, sendo um dos seus objetivos a geração de dados para inicialização de modelos numéricos. Os detalhes a respeito desse experimento podem ser encontrados na página da Internet (<http://www.gfdl.noaa.gov/~mh2/IRI-ARCS/>).

Para finalmente obter-se os dados de condição inicial do modelo foi realizada uma análise estatística a fim de verificar se as médias mensais dos 20 anos seriam satisfatórias para representar o campo inicial do POM. Para tal, foi calculada a média de cada mês entre 1980 e 1999 e os respectivos desvios-padrão. Exemplos desses campos para o mês de julho são mostrados da Figura 7 a Figura 10. Os valores de desvio-padrão são baixos comparados às médias (cerca de 2%), o que mostra que a média é nesse caso um bom estimador para o campo inicial.

Desta forma, a inicialização do modelo foi realizada com o campo médio dos períodos de janeiro a junho e julho a dezembro obtidos a partir dos resultados dos 20 anos de simulação do MOM interpolados para a resolução espacial (vertical e horizontal) do POM, o que é considerado um aninhamento de modelos. Nesse caso, se está aninhando o modelo regional para a região do BM-C-39 (POM) em um modelo global (MOM).

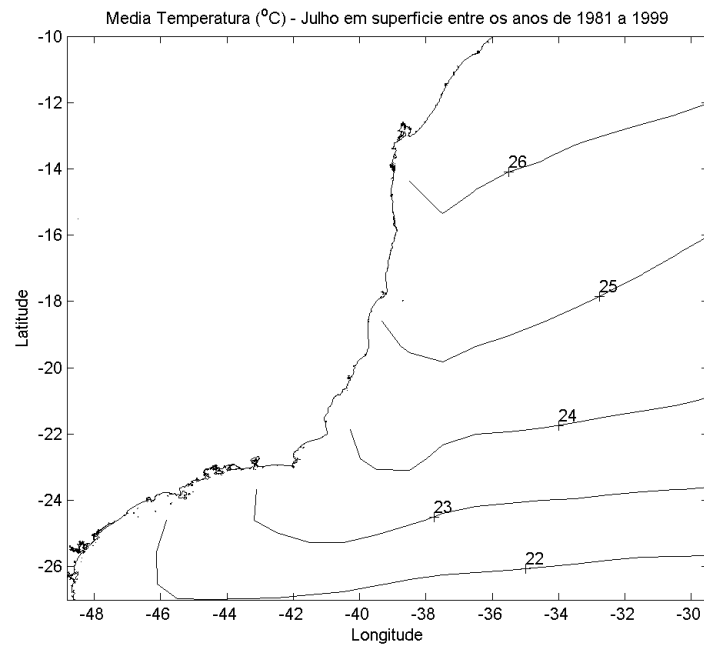


Figura 7: Temperatura média de julho em superfície entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

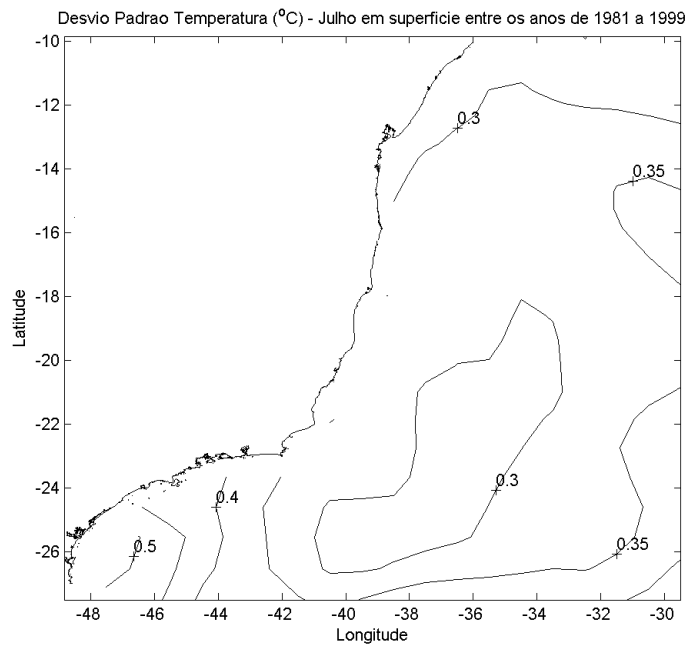


Figura 8: Desvio-padrão da temperatura de julho em superfície entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

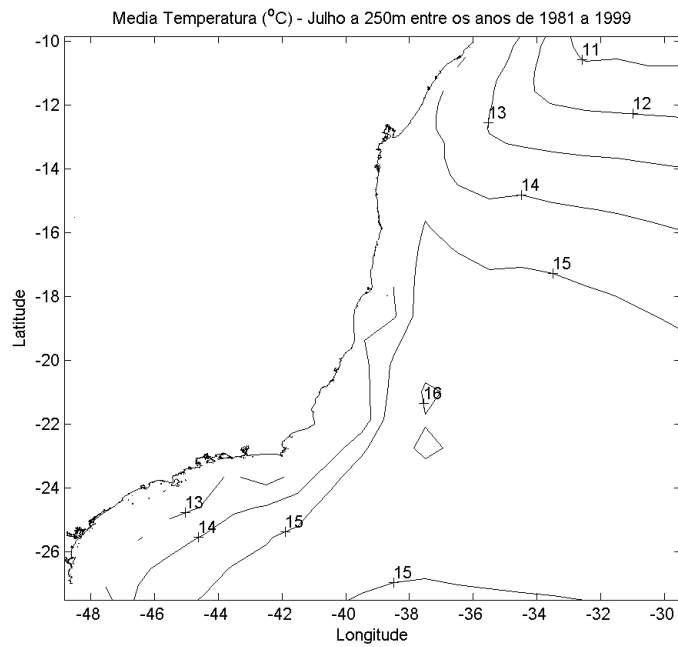


Figura 9: Temperatura média de julho a 250 m entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

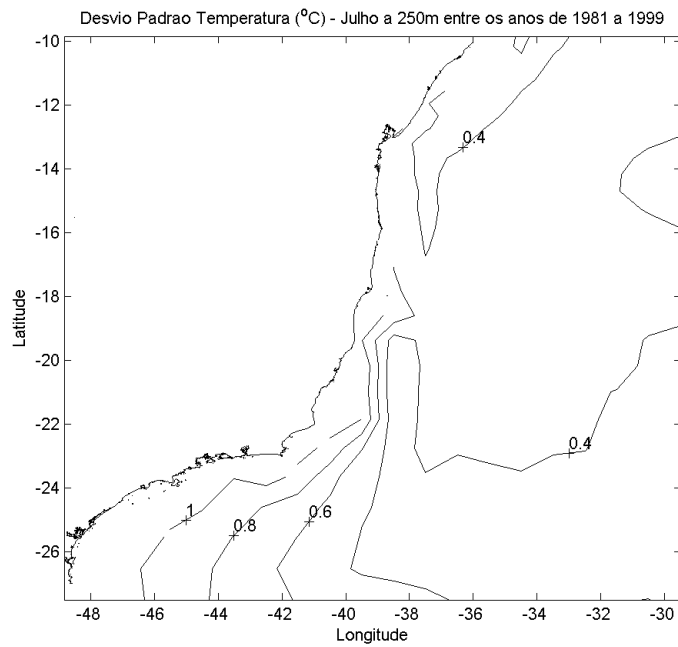


Figura 10: Desvio-padrão da temperatura de julho a 250 m entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

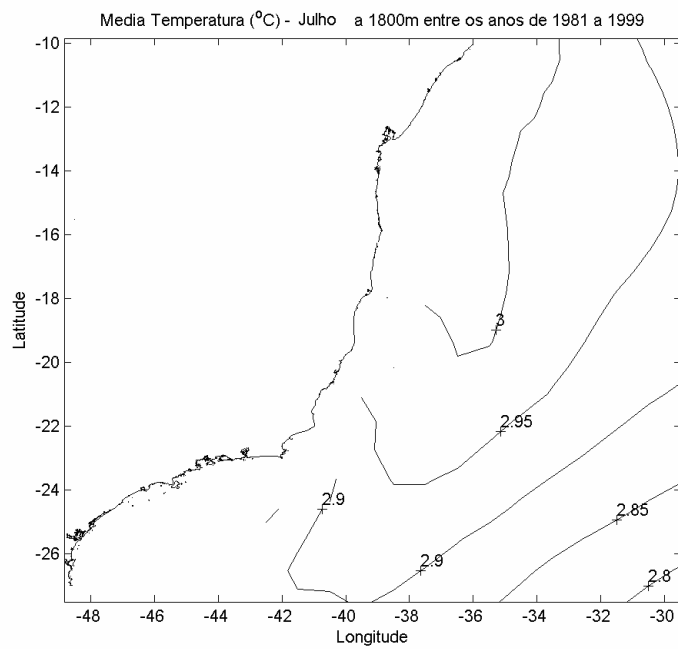


Figura 11: Temperatura média de julho a 1800 m entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

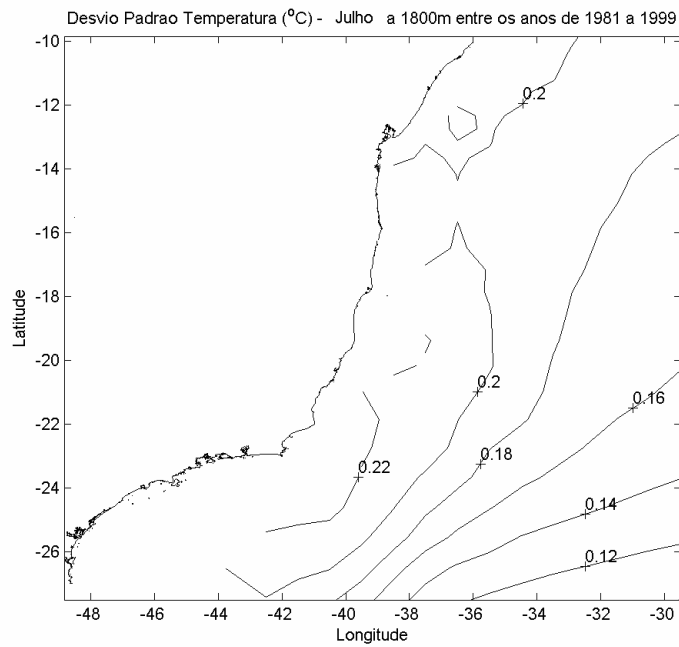


Figura 12: Desvio-padrão da temperatura de julho a 1800 m entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

A partir desses dados médios, realizou-se uma interpolação horizontal e vertical para a grade do POM. Na horizontal os dados foram interpolados para 5 minutos de resolução e na vertical, para os 15 níveis sigma da grade. Exemplos dos campos de temperatura e salinidade médios para o mês de julho, já com a resolução da grade do POM são apresentados da Figura 13 a Figura 15.

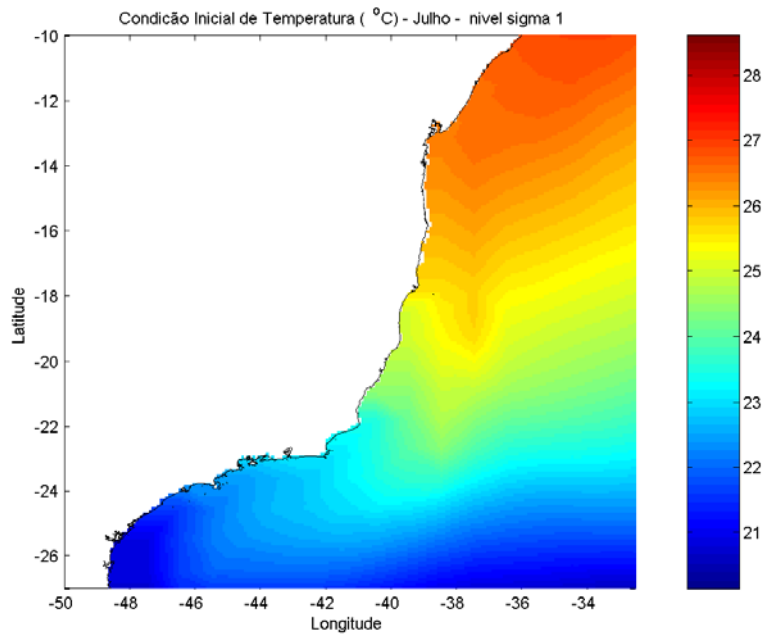


Figura 13: Campo de temperatura interpolada para a grade do POM. Média de julho na 1ª camada sigma.

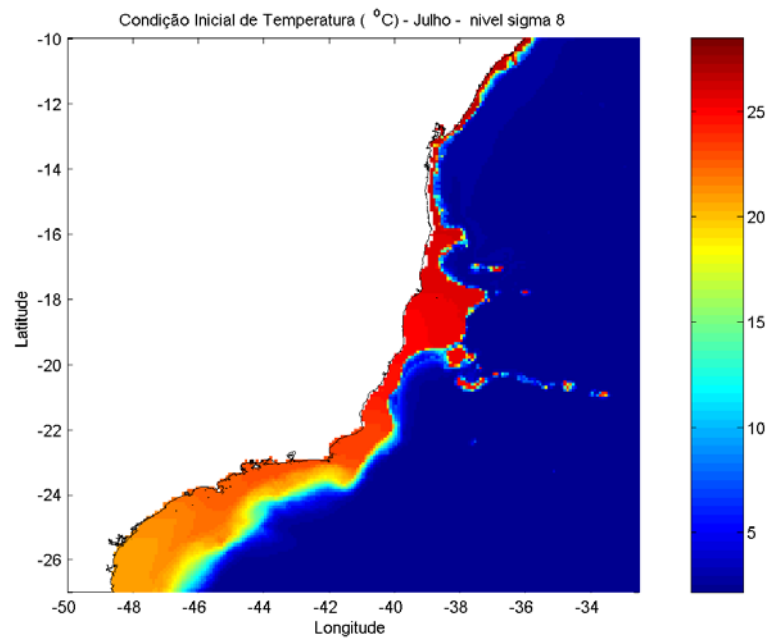


Figura 14: Campo de temperatura interpolada para a grade do POM. Média de julho na 8ª camada sigma.

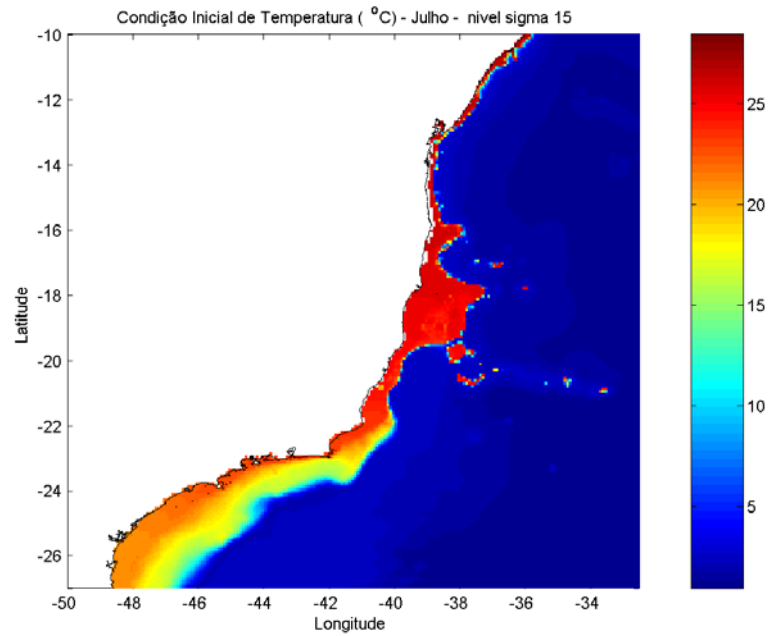


Figura 15: Campo de temperatura interpolada para a grade do POM. Média de julho na 15ª camada sigma.

IV. Condições de Contorno

Quando se utiliza um modelo de área limitada, como é o caso do POM, um dos fatores primordiais é uma escolha adequada das condições de contorno do modelo (Figura 16). Tal escolha deve ser realizada com bastante critério, uma vez que os resultados serão consequência das condições escolhidas.

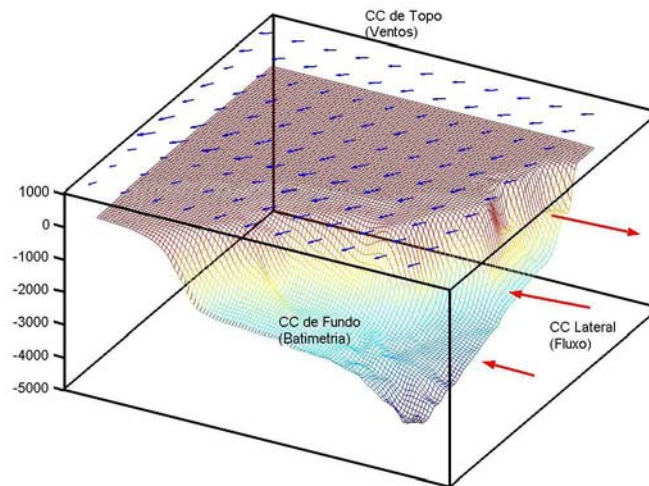


Figura 16: Representação esquemática das condições de contorno a serem definidas em um modelo de área limitada.

IV.1. Condição de Contorno de Fundo

Os dados de batimetria da região foram obtidos com base nos dados ETOPO2 (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/fliers/01mgg04.html>), que possui batimetria e topografia globais com resolução de 2 minutos de arco (cerca de 3,6 km). Esses dados foram então interpolados para a grade do modelo método de Kriging. Após tratamento com um filtro gaussiano bidimensional, obteve-se a matriz de topografia do fundo com 5 minutos de arco de resolução espacial utilizada no modelo hidrodinâmico (Figura 17).

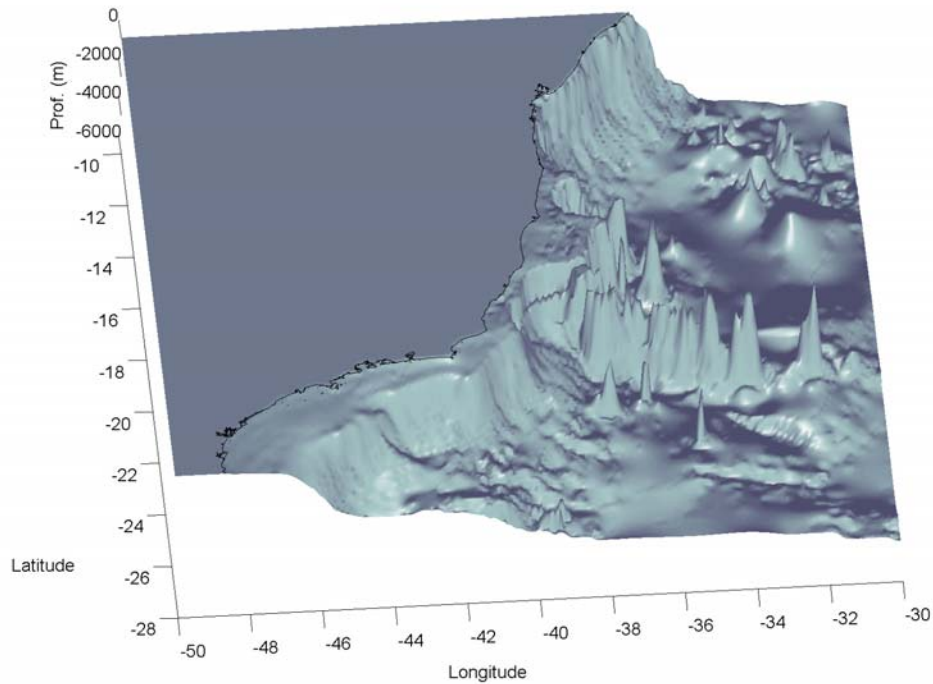


Figura 17: Batimetria da grade do modelo numérico.

IV.2. Condição de Contorno de Superfície

O modelo utiliza dados de tensão de cisalhamento do vento (τ) como condição de contorno de superfície. Esse valor é obtido através de dados de velocidade e direção do vento, utilizando a parametrização proposta por Mascarenhas (1985), que relaciona esses dois parâmetros através da equação a seguir:

Sendo $|V|$ o módulo da velocidade (m/s) do vento a 10 m tem-se, para:

$$0 < |V| < 6 \rightarrow \tau = 0,29 + \left(\frac{3,1}{|V|}\right) + \left(\frac{7,7}{|V|^2}\right)$$

IV.1

$$|V| > 6 \rightarrow \tau = 0,6 + (0,07 * |V|) \quad \text{IV.2}$$

Daí, são obtidos os componentes zonal (τ_x) e meridional (τ_y) da tensão de cisalhamento do vento:

$$\tau_x = -u * |V| * \tau * \frac{\rho_{ar}}{\rho_{\acute{a}gua}} \quad \text{IV.3}$$

$$\tau_y = -v * |V| * \tau * \frac{\rho_{ar}}{\rho_{\acute{a}gua}} \quad \text{IV.4}$$

Onde ρ_{ar} é a densidade média do ar e $\rho_{\acute{a}gua}$ é a densidade de referência da água do mar no local.

Para contemplar o efeito do vento sobre a corrente, foram utilizados os dados de vento obtidos a partir da base de dados do NCEP (Reanálise). A Figura 18 e Figura 19. mostram exemplos de campos de vento utilizados na modelagem hidrodinâmica.

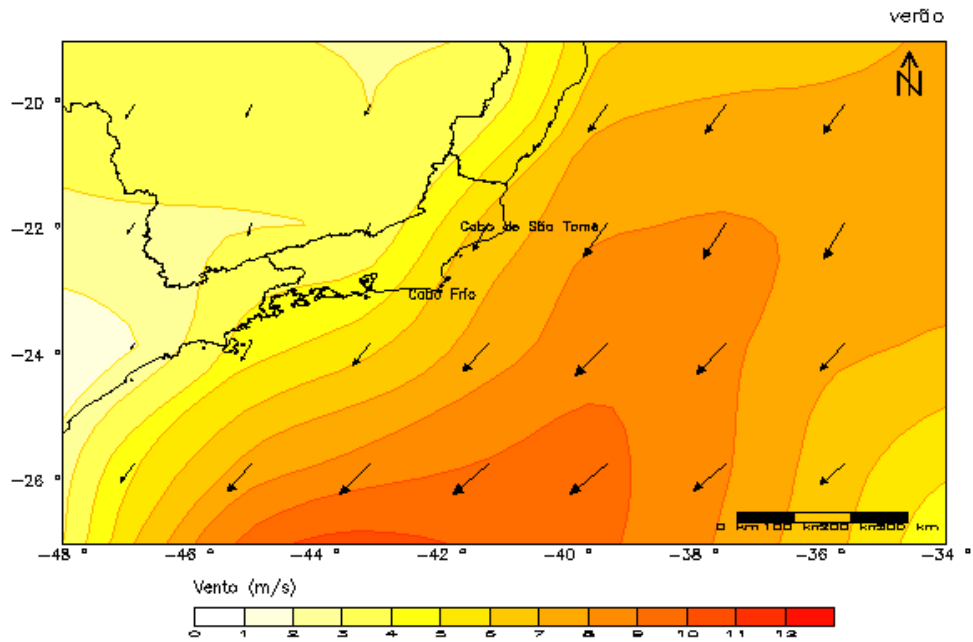


Figura 18: Exemplo do campo de vento (m/s) utilizado para a simulação do período de verão. As cores indicam a magnitude e as setas a direção dos ventos.

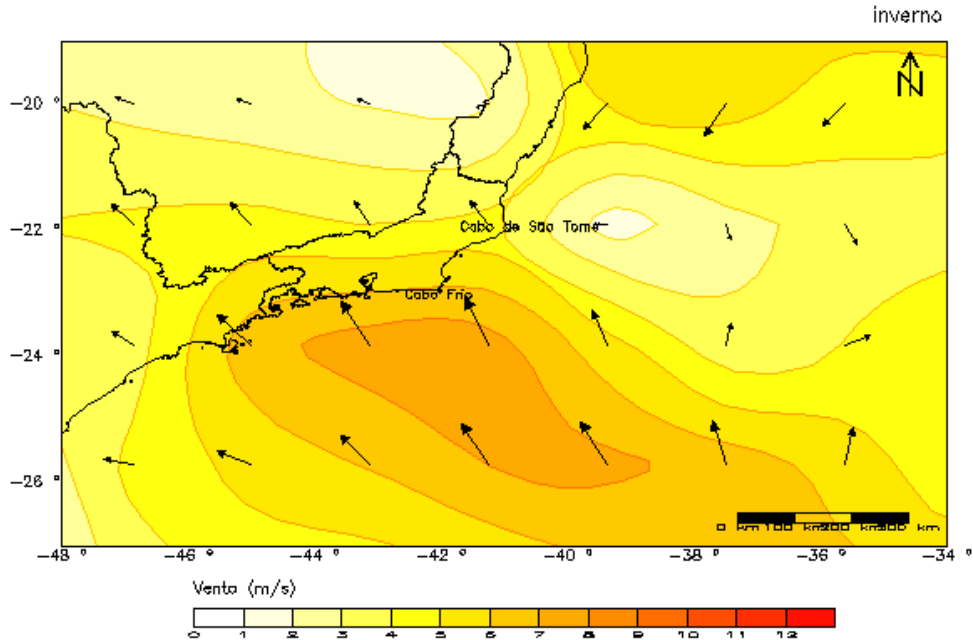


Figura 19: Exemplo do campo de vento (m/s) utilizado para a simulação do período de inverno. As cores indicam a magnitude e as setas a direção dos ventos.

Para representar o balanço de radiação na superfície do oceano, foi utilizado um modelo analítico proposto por Stull (1988). Esse modelo decompõe o termo de radiação líquida (Q^*) em quatro parcelas:

$$Q^* = K \uparrow + K \downarrow + I \uparrow + I \downarrow \quad \text{IV.5}$$

Onde:

- $K \uparrow$ representa a radiação de onda curta (solar) refletida (para cima),
- $K \downarrow$ é a radiação de onda curta transmitida através do ar (para baixo),
- $I \uparrow$ é radiação de onda longa (infravermelho) emitida para cima e
- $I \downarrow$ é a radiação difusiva de onda longa (para baixo)

Os fluxos do oceano para a atmosfera são positivos e os da atmosfera para o oceano são negativos, por definição.

Stull (1988) representa como:

Para o dia:

$$K \downarrow = S * T_K * \text{sen}(\Psi) \quad \text{IV.6}$$

Para a noite:

$$K \downarrow = 0 \quad \text{IV.7}$$

Onde:

S é a irradiância solar (ou constante solar), cujo valor adotado é $S = 1370 \text{ W.m}^{-2}$,

T_K representa a fração da radiação solar que efetivamente chega até a superfície (transmissividade líquida), dada por:

$$T_K = (0,6 + 0,2 * \text{sen}(\Psi)) * (1 - 0,4 * \sigma_{CH}) * (1 - 0,7 * \sigma_{CM}) * (1 - 0,4 * \sigma_{CL}) \quad \text{IV.8}$$

Onde:

σ_C representa a fração de cobertura de nuvens e o subscrito H, M e L, significam, respectivamente, nuvens altas, médias e baixas.

$\text{sen}(\Psi)$ é o ângulo de elevação local do Sol ,dado por:

$$\text{sen}(\Psi) = \text{sen}(\phi) \text{sen}(\delta_S) - \cos(\phi) \cos(\delta_S) \cos \left[\left(\frac{\pi t_{UTC}}{12} \right) - \lambda_e \right] \quad \text{IV.9}$$

onde ϕ é a latitude, λ_e é a longitude (ambos em radianos) e t_{UTC} é o tempo em horas no horário médio de Greenwich. δ_S é o ângulo de declinação solar dado por:

$$\delta_S = \phi_r \cos \left[\frac{2\pi(d - d_t)}{d_y} \right] \quad \text{IV.10}$$

Sendo, ϕ_r a latitude do Tópico de Câncer, d o número do dia do ano, dt o dia do solstício de verão e dy o número médio de dias no ano.

A radiação de onda curta refletida ($K \uparrow$) é dada por:

$$K \uparrow = -a * K \downarrow \quad \text{IV.11}$$

Onde a representa o albedo que é diretamente proporcional ao ângulo solar, variando entre 0,05 com sol a pino e 1 em ângulos de elevação pequenos.

A radiação de onda longa pode ser simplificada em um único termo (I^*), que é a soma de

$I \downarrow$ e $I \uparrow$:

$$I^* = 0,08 * (1 - 0,2\sigma_{CH} - 0,3\sigma_{CM} - 0,6\sigma_{CL}) \quad \text{IV.12}$$

juntando todas as parametrizações para as radiações de onda longa e curta, o modelo de balanço radiativo torna-se:

Durante o dia:

$$Q^* = (1 - a) * S * T_K * \text{sen}(\Psi) + I^* \quad \text{IV.13}$$

Durante a noite:

$$Q^* = +I^* \quad \text{IV.14}$$

Em virtude da dificuldade em se prever a dinâmica das nuvens, e portanto, a quantidade de nuvens baixas, médias e altas presentes, optou-se por tratar a o balanço de radiação sem a ação de atenuação das nuvens.

Em relação à salinidade em superfície ($wssurf$), a condição de contorno é dada por $wssurf(i,j) = vflux(i,j) * (satm - s(i,j,1))$, onde $vflux$ é a velocidade vertical, $satm$ é a pressão atmosférica e $s(i,j,1)$ é a salinidade na primeira camada sigma.

IV.3. Condição de Contorno Lateral

As condições de contorno abertas (CCA) em modelagem oceânica possuem impacto crucial na solução do interior do domínio. Isso é em boa parte devido ao fato de que as escalas de tempo associadas às propagações de ondas através da região oceânica são comparáveis com o comprimento da simulação em si, quando não são muito menores. Uma onda barotrópica, por exemplo, pode cruzar uma região com profundidade de 100m e largura de 100 km em cerca de 1 hora e uma onda interna com velocidade típica de 1 m/s, a cruza em cerca de 1 dia. Isso é muito menor do que a duração de uma previsão típica, que é de no mínimo 1 semana. Além disso, é fato conhecido que as CCAs levam a soluções matematicamente mal-postas (Oliger e Sundström, 1978) e que não existem soluções genéricas. Atualmente, os problemas de condições de contorno abertas podem ser consideradas como os aspectos mais desafiadores da modelagem numérica de oceano (Marsaleix et al., 2006).

As CCAs possuem basicamente dois objetivos. Primeiramente, estabelecer as condições de entrada no domínio para forçar a solução do interior com campos externos, obtidos de observações ou de modelos de maior escala. Ao mesmo tempo, estas devem funcionar como saída, permitindo que as ondas sejam irradiadas para fora ou que as massas d'água saiam do domínio sem que haja reflexões espúrias nas fronteiras. No entanto, é bastante difícil satisfazer a ambos os objetivos simultaneamente e os modelos tendem a escolher localmente qual deles irá utilizar, de acordo com o caráter de entrada ou saída da dinâmica ali presente. A direção da propagação da onda é frequentemente obtida através da inversão de uma equação de propagação de onda baseada nas variáveis modeladas nas vizinhanças da fronteiras abertas. O caráter de entrada ou saída da dinâmica local é então determinado pelo sinal da velocidade de fase da onda calculada na direção normal à fronteira (Orlanski, 1976).

A maioria das condições de contorno foram amplamente estudadas nos últimos 20 anos (Palma e Matano 1998, 2000). Esses estudos fornecem comparações ente diversas CCAs em casos bem determinados (propagação de ondas livres, jatos costeiros forçados por vento, propagação de tempestades etc.) para os quais existe uma solução de referência (soluções analíticas ou mesmo numéricas validadas com observações). Em resumo, os esquemas mais utilizados podem ser divididos em três classes (Palma e Matano, 1998): 1) condições radiativas (Blumberg e Kantha, 1985), 2) Métodos característicos (Hedstrom, 1979), 3) Métodos de relaxação (Martinsen e Engedahl, 1987).

No modelo hidrodinâmico do Bloco BM-C-39, são utilizadas CCAs dos 3 tipos. Para velocidades baroclínicas (tanto u , quanto v), temperatura e salinidade nas fronteiras norte e sul, foram utilizadas CCAs com método de relaxação (Zavatarelli, 1999), que será descrita a seguir, enquanto na fronteira leste foi utilizada uma condição radiativa (Orlanski, 1976) para estas mesmas variáveis (vide resposta da questão 2). Já para as velocidades barotrópicas nas 3 fronteiras, utilizou-se a condição proposta por Flather (1976):

$$U_f = -\sqrt{g/h^*}(\eta - \eta_{ext}) \quad \text{IV.15}$$

Onde U_f é a velocidade barotrópica na fronteira, g é a aceleração da gravidade, h é a profundidade e η é a elevação do nível do mar, dentro e na fronteira do domínio.

Para elevação do nível do mar foi utilizada uma condição radiativa (gradiente zero) já descrita na resposta anterior.

As CCAs para as velocidades baroclínicas, temperatura e salinidade seguiram o procedimento proposto por Zavatarelli, (1999), no qual dados de um modelo de maior escala (OCCAM, nesse caso) são prescritos nas fronteiras do modelo sendo interpolados linearmente no tempo.

As temperaturas e salinidades nas imediações da fronteira sul e norte são relaxadas para os dados climatológicos do OCCAM conforme Ezer & Mellor (2000):

$$\phi_J^{n+1} = \phi_J^{n+1} + cff * (\phi_{c\text{lim}} - \phi_J^{n+1}) \quad \text{IV.16}$$

Onde:

Φ representa a temperatura ou salinidade;

J é o índice da linha, e nesse caso, a condição é aplicada nas dez linhas mais próximas das fronteiras;

n representa o tempo (sendo portanto n+1 o tempo avançado);

Φ_{clim} representa dados extraídos do OCCAM;

cff é o termo de relaxação, dado por:

$$cff = c1 - (c1 - c2) * \pm(J - B) / 10 \quad \text{IV.17}$$

Onde:

B representa a linha correspondente à fronteira norte ou sul;

c1 e c2 são termos de relaxação temporal, dados por:

$$C1 = 2 * dti / srt \quad \text{IV.18}$$

$$C2 = 2 * dti / wrt \quad \text{IV.19}$$

Onde dti é o passo de tempo interno do modelo, srt e wrt são os tempos de relaxação. Nesse caso, foi utilizado srt = 5 dias e wrt = 30 dias.

Com isso, obtém-se uma “zona de relaxação” nas fronteiras, na qual os dados vão sendo forçados para valores climatológicos em períodos que variam de 5 a 30 dias, dependendo da distância da fronteira.

Os dados de correntes foram tratados da mesma maneira que os de temperatura e salinidade (Figura 20).

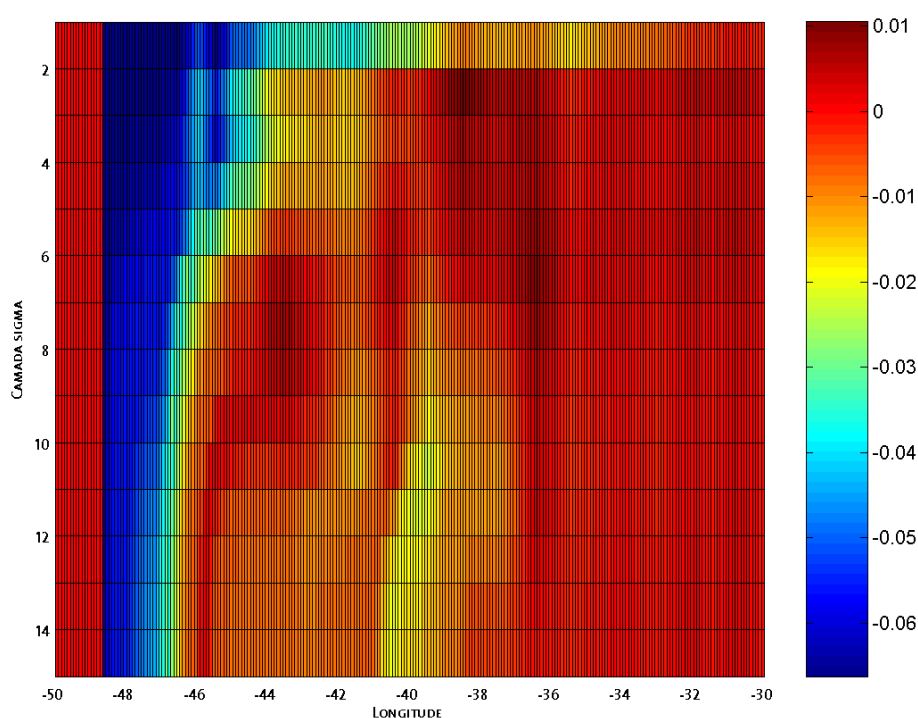


Figura 20: Condição de contorno lateral (fluxo de momento) do modelo hidrodinâmico. Velocidade em (m/s).

Os valores negativos indicam fluxo para sul e os positivos para norte. Notam-se maiores valores em superfície entre as longitudes de 49° e 47° W com direção sul, associados à CB. Entre as longitudes de 44° a 38° W nas camadas sigma de 2 a 9 existe uma contra corrente com direção norte, associada ao fluxo da Água Intermediária Antártica.

IV.3.1. Elevação do Nível do Mar

Para incluir a propagação da onda de maré, foi utilizada a condição de contorno de elevação na fronteira leste do modelo. Esses dados foram obtidos através das constantes harmônicas fornecidas pelo modelo FES95 modelo (de “Finite Element Solutions”). As equações governantes do FES95 são as equações de águas rasas, barotrópicas e não-

lineares, resolvidas utilizando método de elementos finitos. Para a fricção com o fundo é utilizada parametrização quadrática, mais adequada para regiões de águas rasas. A forçante de maré é baseada no desenvolvimento astronômico do potencial de maré, levando em conta as correções dos efeitos de maré terrestre (earth tides) e maré de carga (load tides) sendo ainda realizada assimilação de dados de altimetria de satélite. (Le Provost et al. 1995). A batimetria é retirada do banco de dados ETOPO5 do National Geophysical Data Center (NGDC) do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

São simuladas oito constituintes de maré (M2, S2, N2, K2, N2, K1, O1 e Q1) em todo globo, excluindo-se alguns mares interiores e baías como a Baía de Fundy. A grade do modelo FES95 apresenta resolução variável, porém os resultados que foram colocados a disposição da comunidade científica estão em grades de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. A partir destes, foram então retirados os dados de fase e amplitude de sete componentes (M2, S2, N2, K2, K1, O1 e Q1) para os pontos da fronteira leste da grade. Com esses dados foi realizada a previsão de maré, incluída como condição de contorno de elevação no POM. Esses dados foram interpolados linearmente para que cada ponto de grade da fronteira leste possua um valor de elevação correspondente. A Figura 21 mostra duas séries temporais de elevação utilizadas como condição de contorno; no primeiro (linha vermelha) e no último ponto de grade da fronteira leste (linha azul).

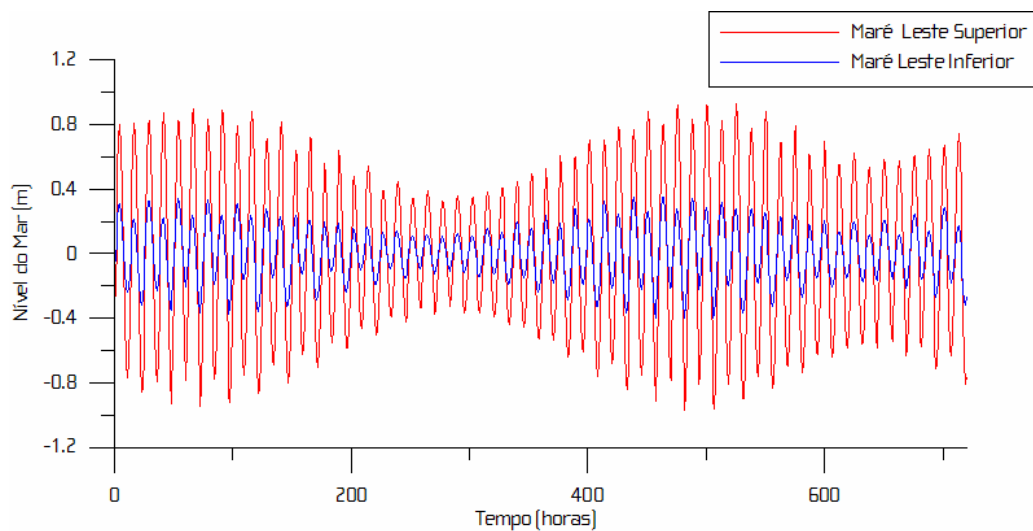


Figura 21: Condição de contorno de topo (elevação do nível do mar) do modelo hidrodinâmico.

Nas fronteiras norte e sul, a condição de contorno utilizada para a elevação é a de gradiente zero, representadas pela equação a seguir:

$$\frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \quad \text{IV.20}$$

Ou seja se a onda ali e propagando estiver saindo do domínio, esta condição tenta simular a saída da onda na fronteira sem reflexão e se estiver entrando, tenta fazer com que os efeitos da entrada sejam sentidos pelo interior do domínio.

IV.3.2. Correntes

As condições de contorno para as velocidades nas fronteiras norte e leste são as radiativas de Orlandi:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + C * \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0 \quad \text{IV.21}$$

Onde:

ϕ representa a componente meridional ou zonal da velocidade;

C é a velocidade de propagação das ondas que atingem a fronteira;

IV.3.3. Temperatura

A condição para temperatura e salinidade é a advecção upstream:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + v * \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0 \quad \text{IV.22}$$

V. RESULTADOS

V.1. Avaliação do Modelo

Para que possamos saber se o comportamento do sistema de previsão é suficientemente compatível com o "sistema real" é necessário realizar uma comparação entre os resultados obtidos nos dois mundos; o "real" e o simulado.

A nomenclatura contemporânea para tal estudo é "avaliação". Embora possa parecer um rótulo de pouca importância, os termos anteriormente utilizados para tal fim, sempre foram controversos. A primeira nomenclatura "validação" foi substituída por "comparação histórica", a qual foi complementada com o termo "garantia de qualidade". A dificuldade em se definir um termo reside no fato de que as palavras "validação" e "garantia" trazem em si uma expectativa de positivo e negativo em relação aos resultados. O modelo poderia ser somente válido ou não válido, garantido ou não garantido. Nesse sentido, o termo "avaliação" torna-se mais adequado, uma vez que é neutro e pode abarcar uma gama maior de definições em termos de qualificação do modelo ou sistema (Beck, 2002).

Em essência, são duas as principais perguntas que devem ser respondidas quando se avalia um modelo ou sistema:

1. O modelo foi construído com materiais aprovados, i.e. as hipóteses constituintes são consagradas e adequadas?
2. O seu comportamento se aproxima bem do observado com respeito ao "mundo real" ?

A primeira pergunta pode ser respondida com o grande número de artigos publicados em revista internacionais utilizando o POM para estudos de circulação oceânica em diversas escalas, nos mais variados corpos d'água.

Para responder a segunda pergunta foram realizadas comparações entre dados observados e os resultados obtidos pelo modelo, considerando diversos aspectos da dinâmica oceânica local.

V.1.1. Transporte de Volume

Para a avaliação de valores de transporte de volume são utilizados os mesmos dados analisados por Lima (1997). O método do cálculo do transporte de volume a partir dos dados de corrente foi o "método da caixa", adotado por Lima (1997). A Figura 22 apresenta um diagrama indicando a metodologia adotada.

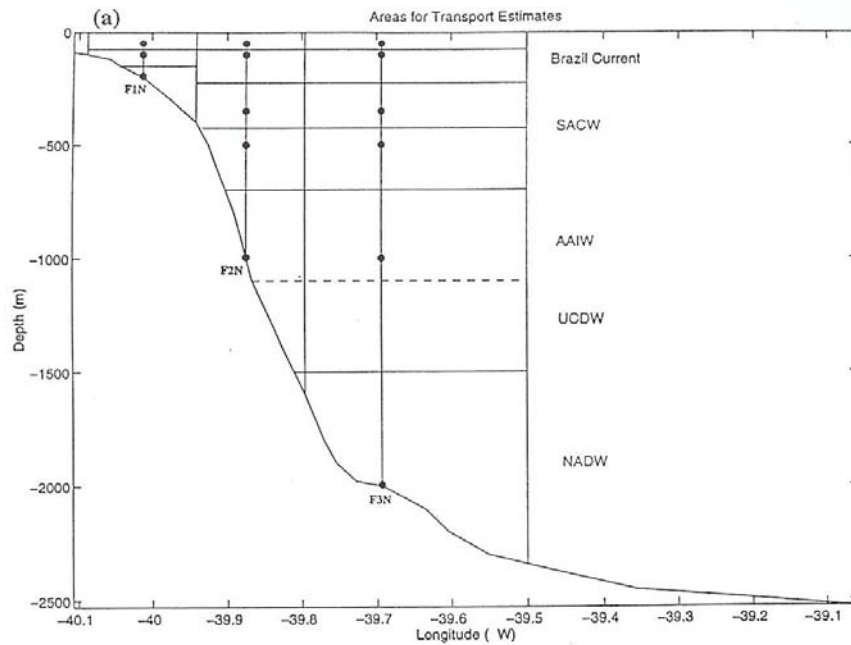


Figura 22: Representação esquemática da metodologia utilizada para o cálculo do transporte de volume (Lima, 1997).

Para obter-se os dados de transporte de volume modelados, os mesmos dados selecionados para as comparações das componentes meridionais de corrente foram utilizados. Os valores dessas componentes foram multiplicados pelas áreas escolhidas por Lima (1997), obtendo-se então o transporte de volume. As comparações podem ser observadas da Figura 23 à Figura 26.

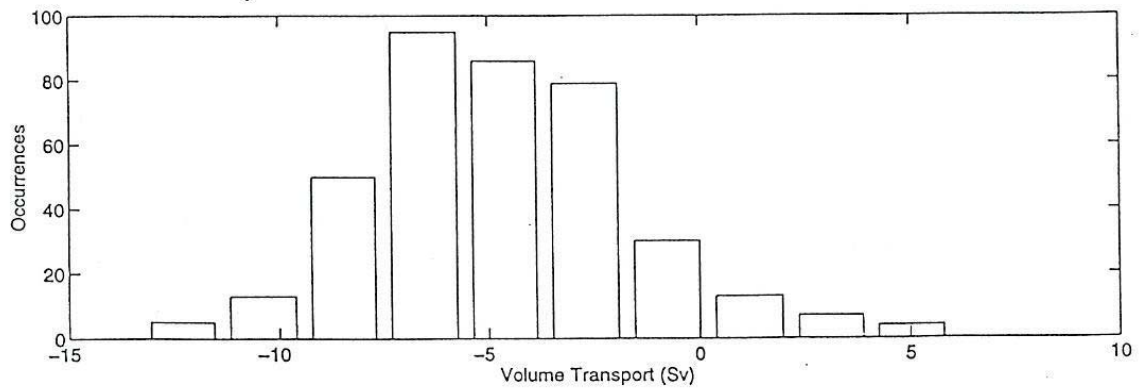


Figura 23: Histograma do transporte de volume da Corrente do Brasil entre maio de 1994 e maio de 1995, obtido por Lima (1997).

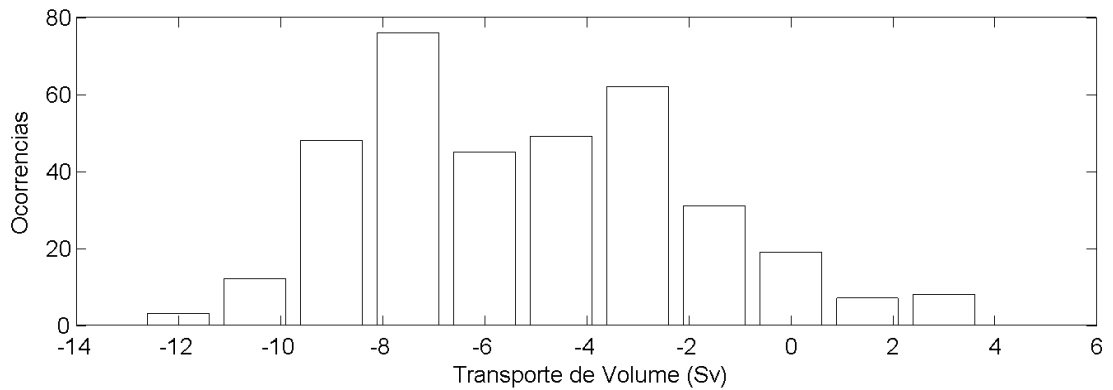


Figura 24: Histograma do transporte de volume da Corrente do Brasil para o ano de 1999 obtido pelo modelo numérico.

Lima (1997) encontrou transporte de volume médio para a Corrente do Brasil naquela região de -5.5 ± 2.6 Sv, contra $-5,1 \pm 3,2$ Sv calculados pela simulação, o que reflete boa concordância. Esse fato pode ser observado também nos histogramas, que apresentam comportamento bastante similar.

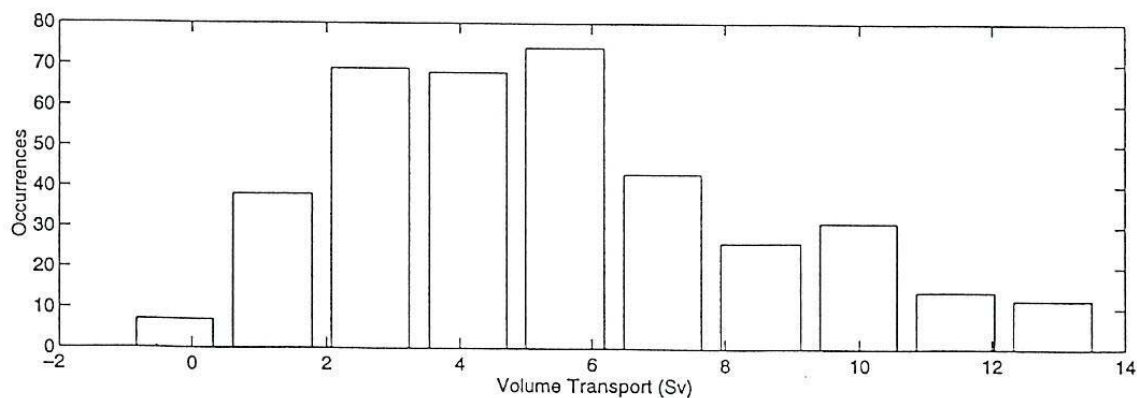


Figura 25: Histograma do transporte de volume da Contra Corrente Intermediária entre maio de 1994 e maio de 1995, obtido por Lima (1997).

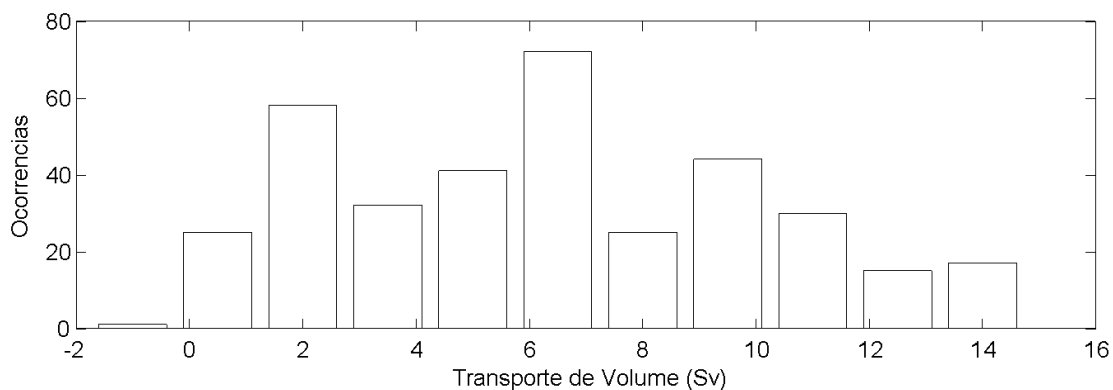


Figura 26: Histograma do transporte de volume da Contra Corrente Intermediária para o ano de 1999 obtido pelo modelo numérico.

O mesmo pode-se dizer em relação ao transporte da Contra Corrente Intermediária. Os valores simulados, $6,3 \pm 3,8$ Sv, são bem próximos aos calculados por Lima (1997), $6,6 \pm 3,5$ Sv, com histogramas apresentando comportamentos semelhantes.

V.1.2. Estrutura Termohalina

A fim de avaliar se as condições iniciais e as condições de contorno do modelo são capazes de representar de maneira adequada a estrutura termohalina da região, foram

realizadas comparações entre dados observados e modelados. Foram analisados dados de TSM obtidos por sensores AVHRR e perfis verticais de temperatura, salinidade e densidade medidos na região da Bacia de Campos (Lima, 1997).

Os dados de TSM estimados pelo sensor AVHRR são disponibilizados pelo projeto WOCE através da rede mundial de computadores no endereço <http://poet.jpl.nasa.gov>. A TSM é disponibilizada com resolução espacial de aproximadamente 5 minutos de arco (9,2 km) em forma de composições de oito dias.

Foram escolhidos dois períodos para as comparações; janeiro e junho. Essas datas foram selecionadas por serem as que apresentaram menor cobertura de nuvens e também para verificar se a variação sazonal do modelo estaria compatível com as observações.

Da Figura 27 até a Figura 32 são apresentados os dados de TSM estimados pelo satélite e obtidos pelo sistema de previsão, assim como o erro relativo.

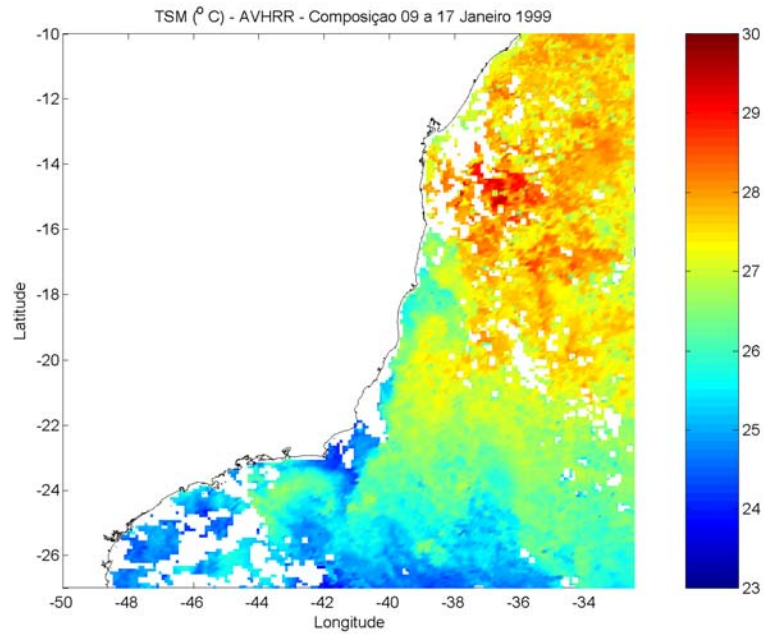


Figura 27: Temperatura da Superfície do Mar entre os dias 9 e 17 de janeiro de 1999 obtidos pelo sensor AVHRR. Dados disponibilizados pelo Projeto WOCE.

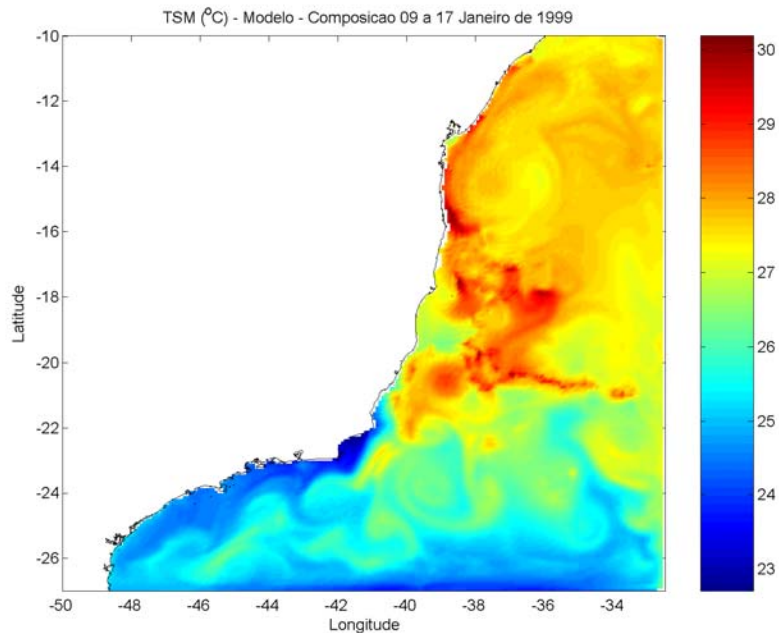


Figura 28: Temperatura da Superfície do Mar entre os dias 9 e 17 de janeiro de 1999 obtidos pelo modelo numérico.

Entre as latitudes de 10° a 22° S, pode-se observar, tanto nos dados obtidos por satélite, quanto nos simulados (Figura 27 e Figura 28), temperaturas em torno de 30° . A partir de 22° S, a TSM das águas transportadas pela Corrente do Brasil diminui, chegando a cerca de 26° C. As áreas adjacentes também apresentam menores valores em direção ao sul, passando de 28° C entre 10° e 20° S, a 26° C entre 20° e 24° S, até atingirem cerca de 24° C na região mais ao sul da grade.

Observa-se na região do Banco de Abrolhos, uma área de temperatura mais baixa (cerca de 26° C), em relação as águas adjacentes, talvez relacionado ao fato da Corrente do Brasil se deslocar em direção ao largo ao encontrar as menores profundidades do banco.

Na região costeira desde o Cabo de São Tomé até o final da grade, as temperaturas são as menores, chegando a 23° C em Cabo Frio.

O erro médio quadrático entre os dados observado e modelado para esse período é de $0,8^{\circ}$ C e as diferenças relativas de temperatura (Figura 29) são no máximo 5 %.

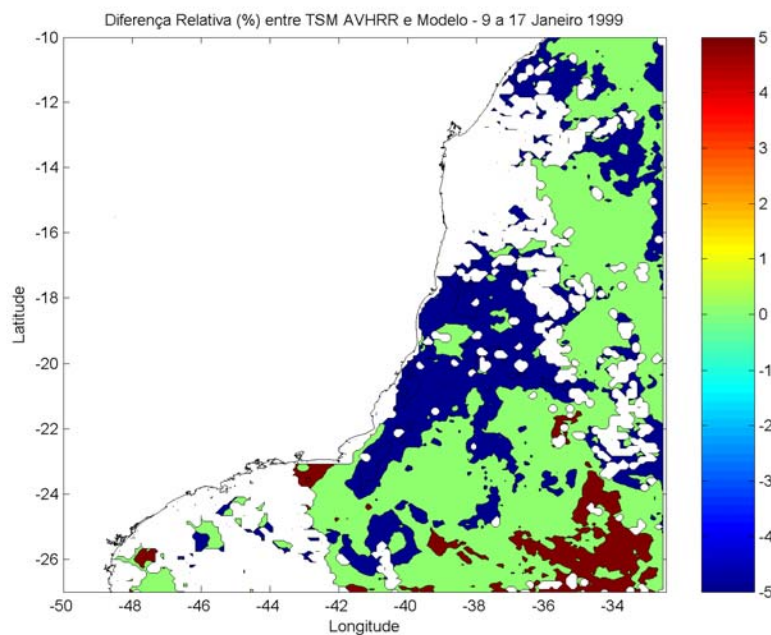


Figura 29: Diferença relativa (%) entre a TSM obtida pelo sensor AVHRR e pelo modelo numérico para o período de 9 e 17 de janeiro de 1999.

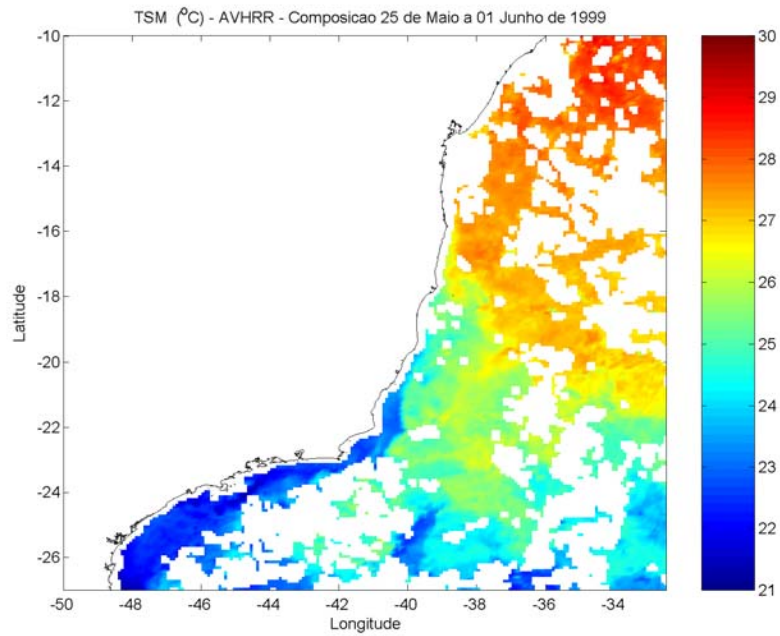


Figura 30: Temperatura da Superfície do Mar entre os dias 25 de maio e 1º de junho de 1999 obtidos pelo sensor AVHRR. Dados disponibilizados pelo Projeto WOCE.

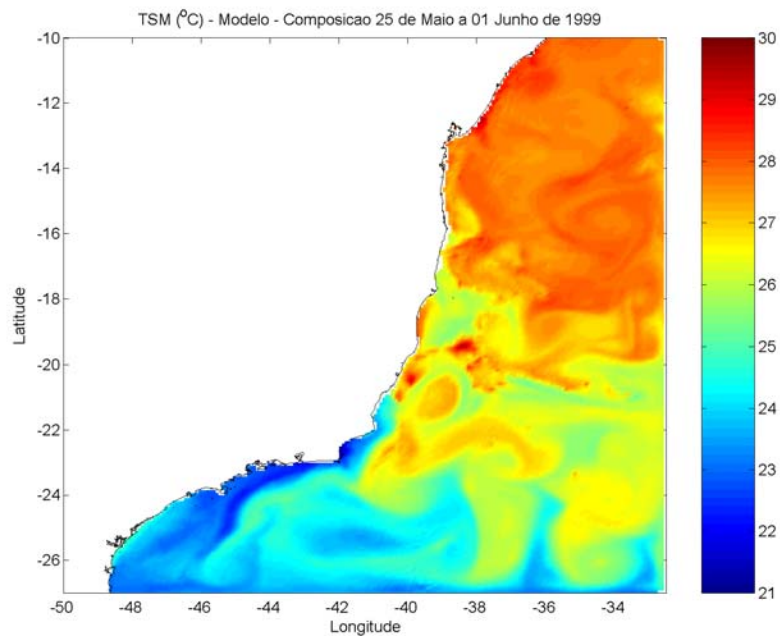


Figura 31: Temperatura da Superfície do Mar entre os dias 25 de maio e 1º de junho de 1999 obtidos pelo modelo numérico.

Para o período de maio/junho pode-se notar que as temperaturas mínimas chegam a 21° C, contra 23° C para o mês de janeiro. As temperaturas entre as latitudes de 10° a 22° S continuam em torno de 29° C. A latitude na qual a TSM começa a diminuir, agora é em torno de 20° C chegando a cerca de 25° C.

Na região costeira desde o Cabo de São Tomé até o a costa de Santa Catarina, as temperaturas estão entre 22 e 21° C.

O erro médio quadrático entre os dados observado e modelado para esse período é de $1,1^{\circ}$ C e as diferenças relativas de temperatura (Figura 29) alcançam, localizadamente, até 10%.

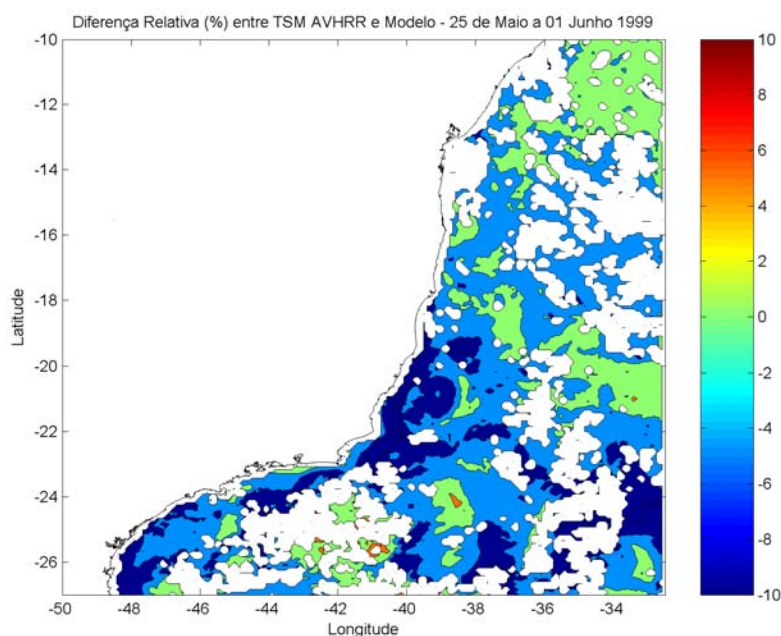


Figura 32: Diferença relativa (%) entre a TSM obtida pelo sensor AVHRR e pelo modelo numérico para o período de 25 de maio a 1^o de junho de 1999.

As comparações indicam que as condições iniciais e de contorno foram eficientes em reproduzir a variação sazonal da TSM. A posição da frente de temperatura também foi bem representada, evidenciando que a posição da Corrente do Brasil está compatível com o que se observa.

Para avaliar a estrutura termohalina ao longo da coluna d'água, foram comparados dados medidos pelo Projeto P2000, apresentados por Lima (1997). Os gráficos da Figura 33 até a Figura 38 mostram seções verticais na latitude de 22° S da temperatura potencial, salinidade e densidade potencial observados e modelados.

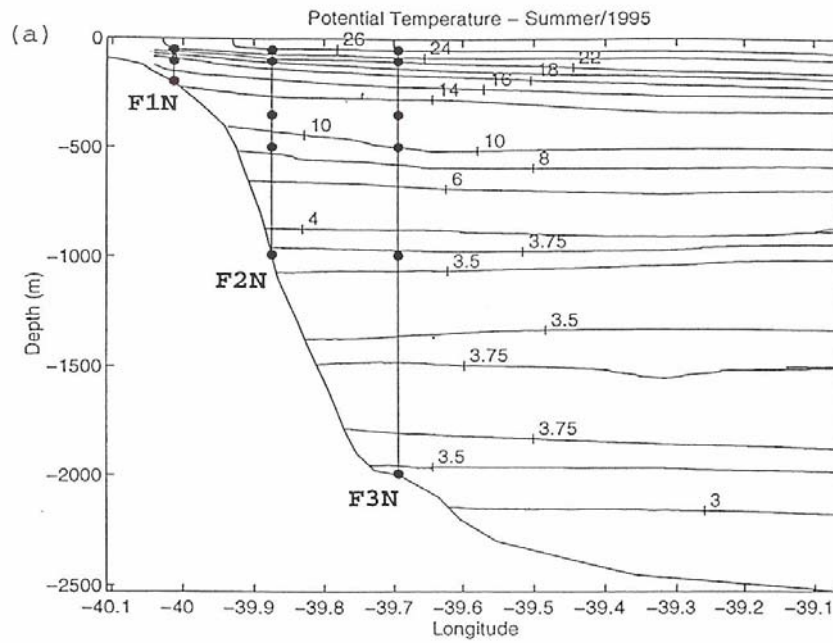


Figura 33: Seção vertical da temperatura potencial (oC) na latitude de 22° S obtida por medições in situ no verão de 1995. Fonte: Lima, 1997.

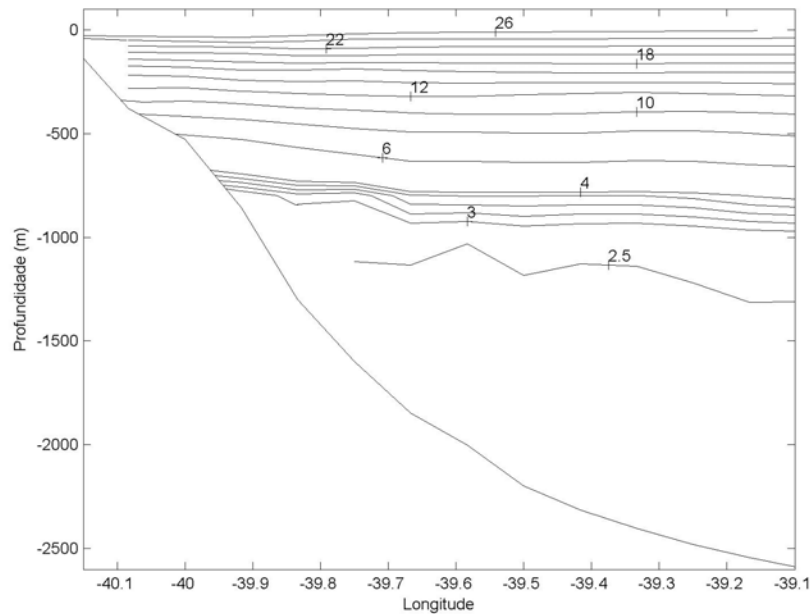


Figura 34: Seção vertical da temperatura potencial (oC) na latitude de 22° S obtida pelo modelo numérico no verão de 1999.

Os perfis verticais de temperatura potencial (Figura 33 e Figura 34) mostram configurações bastante similares. A posição das isotermas em relação a profundidade estão bastante próximas. Porém, nota-se que a partir da isoterma de 4° C, localizada entre as profundidades de 700 a 800m, o gradiente de temperatura é maior no modelo do que nos dados medidos, o que faz com que o modelo possua temperaturas mais baixas em águas mais profundas, chegando a 2,5° C.

Os perfis de salinidade (Figura 35 e Figura 36) mostram comportamentos semelhantes. A localização e os valores do mínimo de salinidade, associado à presença da Água Intermediária Antártica, são próximos, assim como a posição das isohalinas, e os valores de máxima salinidade em superfície.

Isso indica boa representação da estrutura vertical do modelo comparando-se com o que se observa na região da Bacia de Campos.

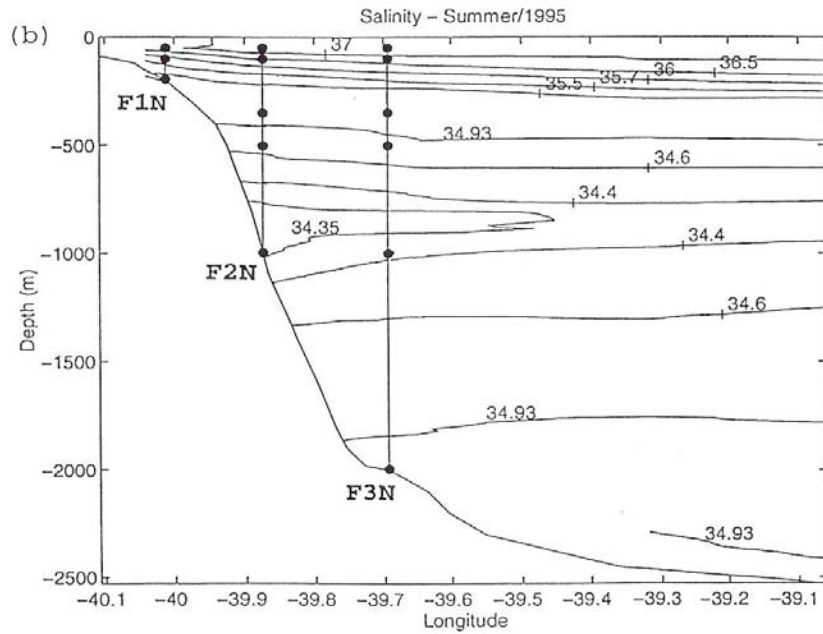


Figura 35: Seção vertical da salinidade na latitude de 22° S obtidos por medições in situ no verão de 1995. Fonte: Lima, 1997.

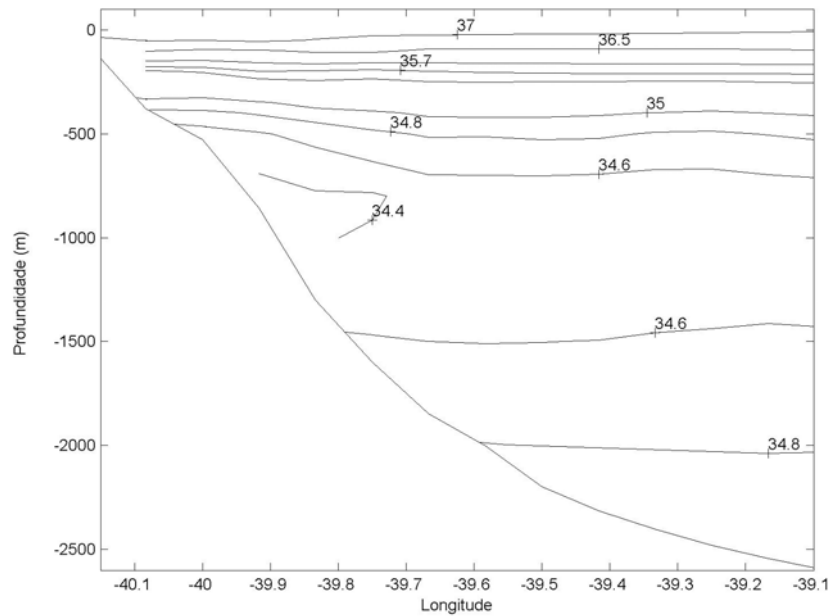


Figura 36: Seção vertical da salinidade na latitude de 22° S obtidos pelo modelo numérico no verão de 1999.

Como as estruturas verticais de temperatura e salinidade são semelhantes, esse fato reflete-se na distribuição da densidade potencial, que apresenta padrões compatíveis entre as observações e a simulação (Figura 37 e Figura 38).

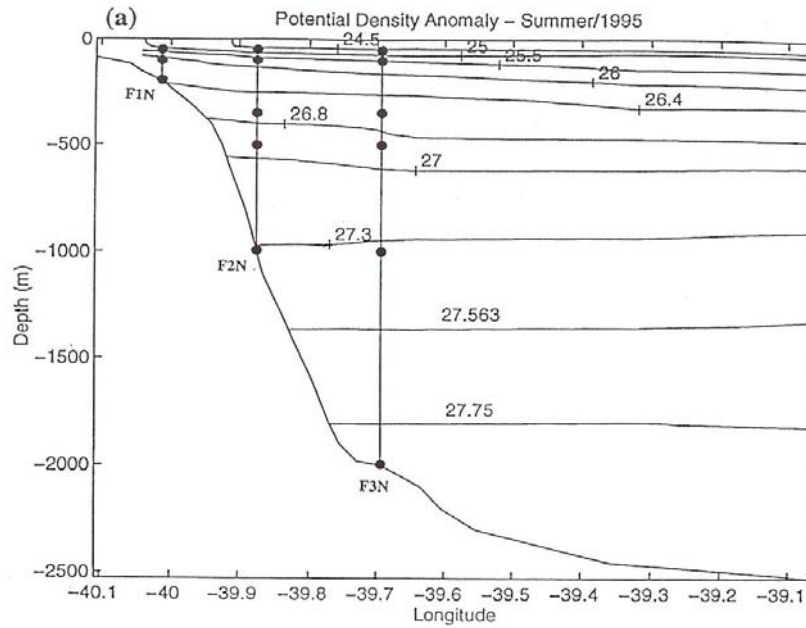


Figura 37: Seção vertical da densidade potencial na latitude de 22° S obtidos por medições in situ no verão de 1995. Fonte: Lima, 1997.

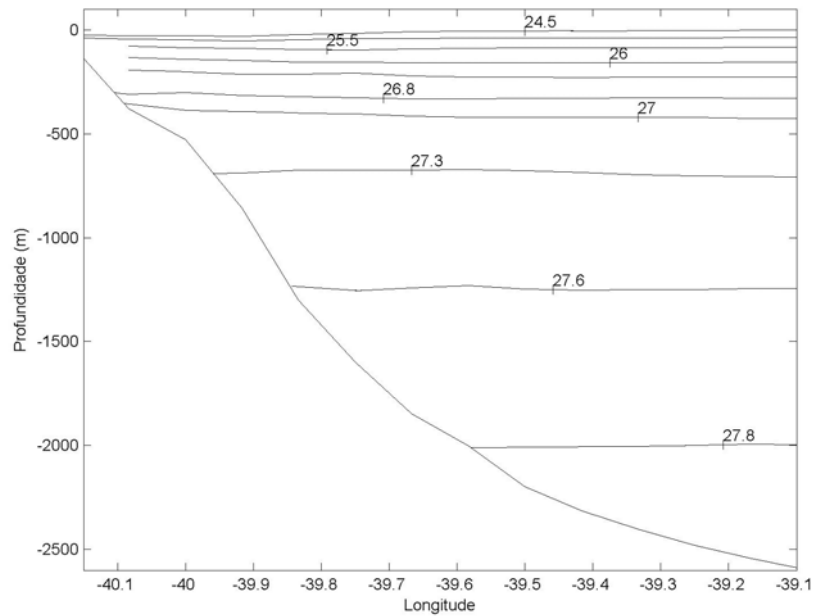


Figura 38: Seção vertical da densidade potencial na latitude de 22° S obtidos pelo modelo numérico no verão de 1999.

V.1.3. Campos de Corrente

Os resultados mostram que o sistema foi capaz de representar as principais feições de corrente presentes nas Bacias de Campos e Santos, ou seja, a Corrente do Brasil (Figura 39) e a contra corrente associada ao fluxo da Água Intermediária Antártica (Figura 40).

Outro resultado do modelo que não foi comparado com observações, mas que comporta-se como indica a literatura é a corrente que seria associada ao fluxo da Água Profunda do Atlântico Norte, em profundidades maiores que 2000m (Figura 41).

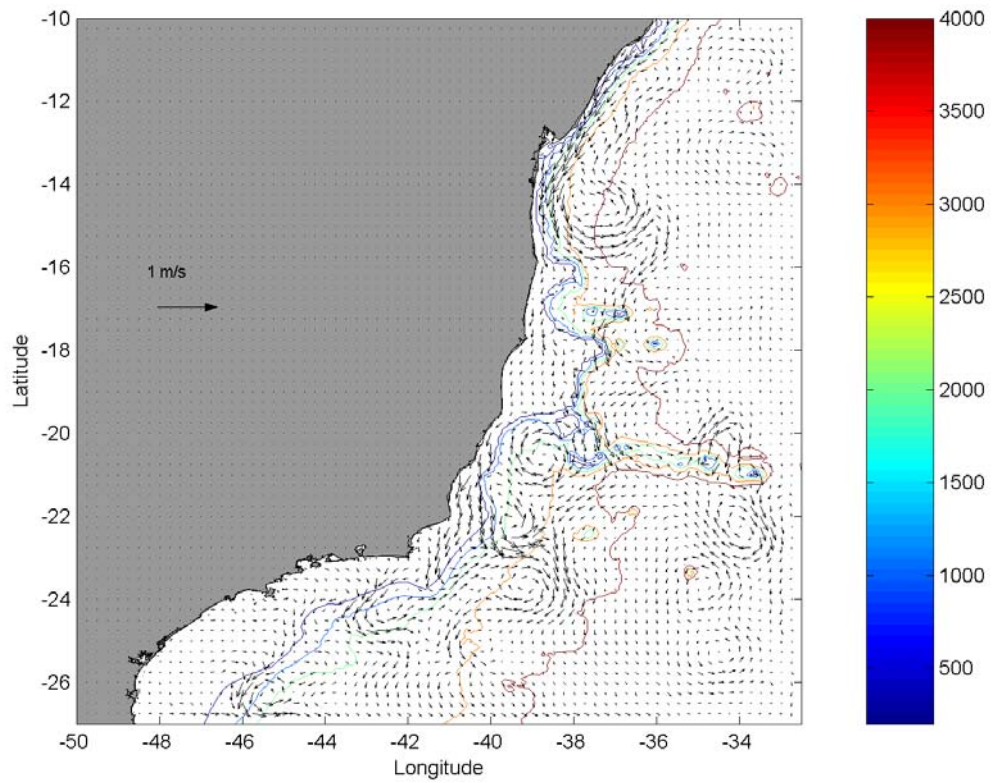


Figura 39: Correntes (m/s) em superfície obtidas pelo modelo numérico. A escala de cores refere-se à batimetria em metros.

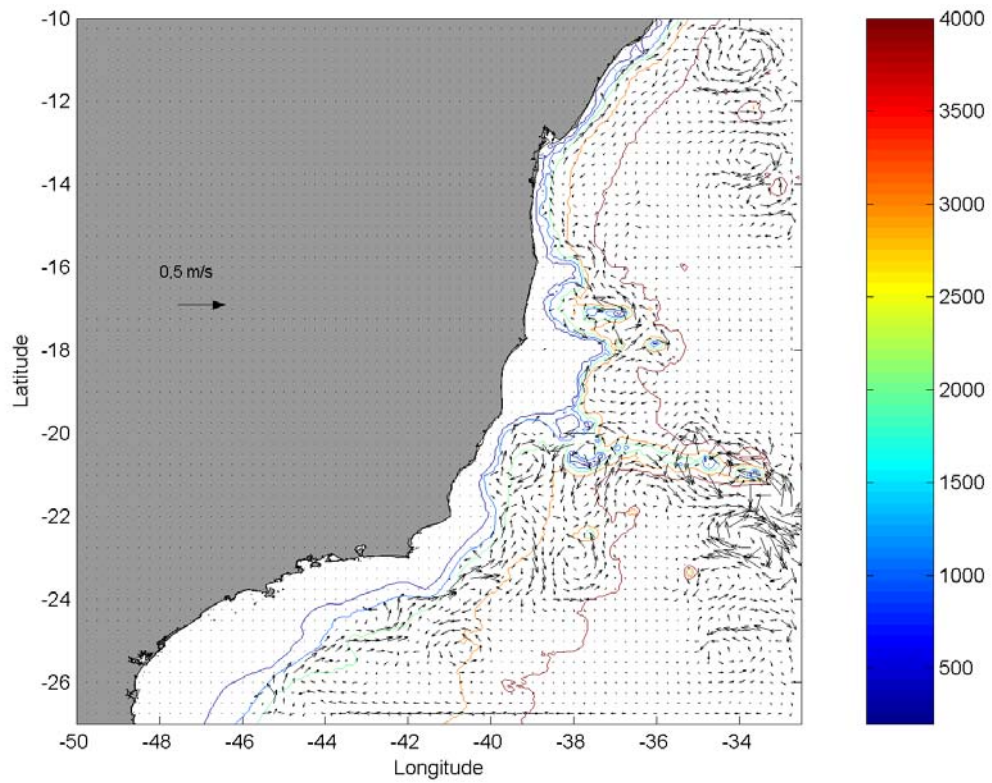


Figura 40: Correntes (m/s) a 1000 m obtidas pelo modelo numérico. A escala de cores de refere-se à batimetria em metros.

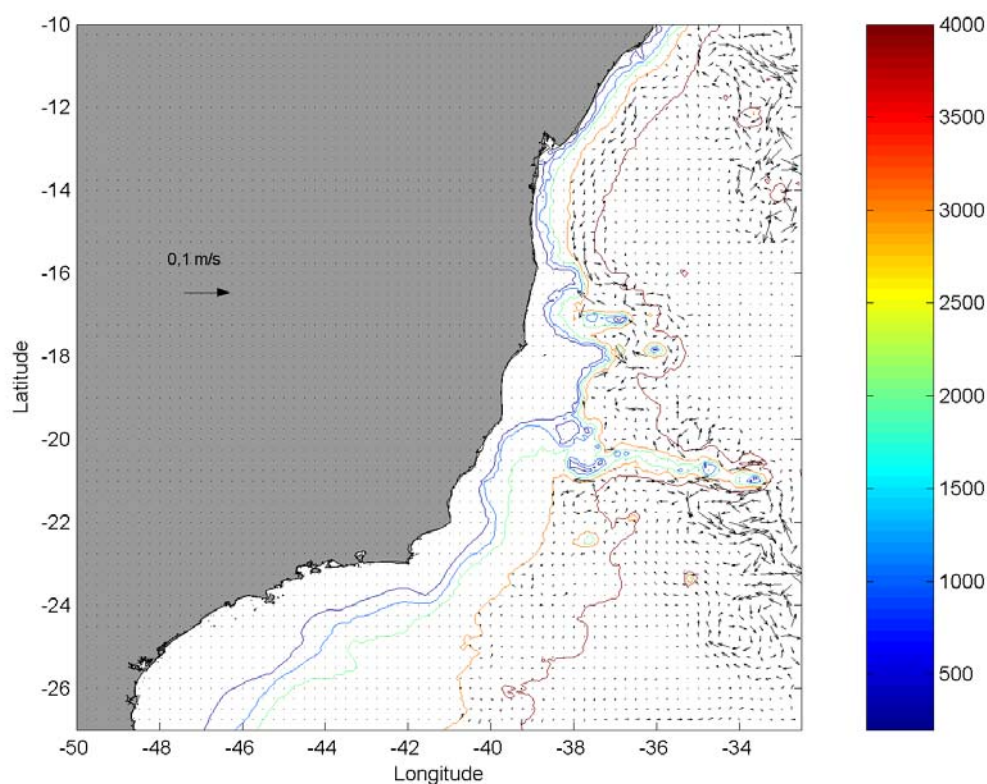


Figura 41: Correntes (m/s) a 3000m obtidas pelo modelo numérico. A escala de cores de refere-se à batimetria em metros.

VI. CONCLUSÕES

O modelo numérico hidrodinâmico de coordenadas sigma, POM (Princeton Ocean Model) foi implementado à região adjacente ao Bloco BM-C-39.

Após devidamente calibrado, o modelo foi executado para fornecer os campos de temperatura, salinidade e corrente. Os resultados das comparações entre os dados simulados pelo POM e os observados, tanto para a estrutura termohalina, quanto para a corrente em superfície e em profundidade foram considerados satisfatórios na representação da dinâmica oceânica da região, pois conseguiu reproduzir fenômenos em escala climática (Corrente do Brasil e fluxo da AIA, por exemplo) e de menor escala temporal (vórtices e meandros).

Sendo assim, estes dados foram considerados aptos a serem utilizados para as simulações de transporte de material no oceano realizadas para o Bloco BM-C-39.

VII. BIBLIOGRAFIA

Brandsma, M., & Smith, J., 1999. Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model Report and User Guide. *ExxonMobil Upstream Research Co.*

Beck, B., 2002 - "Model evaluation and performance." In: Encyclopedia of Environmetrics Volume 3, pp 1275–1279 - Edited by Abdel H. El-Shaarawi and Walter W. Piegorsch John Wiley & Sons, Ltd, Chichester

Blumberg, A. F. and G. L. Mellor, A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model, In Three-Dimensional Coastal Ocean Models, N. S. Heaps (Ed.), 1-16, American Geophysical Union, Washington, DC, 1987.

Boebel, O., C. Schmid, G. Podesta and W. Zenk, 1999: "Intermediate water in the Brazil-Malvinas Confluence Zone: A Lagrangian view". *Journal of Geophysical Research*, 104 (C9), pp. 21,063-21,082.

Calado, L. 2000, Dinâmica da Formação dos Meandros e Vórtices da Corrente do Brasil ao Largo do Sudeste Brasileiro, Dissertação de Mestrado – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.

Castro, B.M.; Miranda, L.B., 1998: "Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf located between 4°N and 34°S." In: Robinson, A.R.; Brink, K.H. (eds.): *The Sea*, Vol. 11: pp. 209-252, New York, John Wiley & Sons.

Castro Filho, Belmiro Mendes de; Miranda, Luiz Bruner de; Calado, Leandro; Nonnato, Luiz Vianna; Mattos, Rafael Augusto: *Condições oceanográficas de verão e inverno ao largo de Cabo Frio durante o projeto DEPROAS - Simpósio Brasileiro de Oceanografia*, 1 : 2002 : São Paulo.

DHN, 1969: "II Comissão Oceanográfica: NE "Almirante Saldanha" de 15/02 a 28/02/1957." Rel. DHN-DG 20(II), p.1-11.

Evans D.L. , S. S. Signorini & L.B. Miranda, 1983: A note on the transport of the Brazil Current. *Journal Of Physical Oceanography*, 9, 724-738.

Ezer,T. and G. L. Mellor, 1997. Simulations of the Atlantic Ocean with a free surface sigma coordinate ocean model. *J. Geophys. Res.*, 102(C7), 15,647-15,657.

Ezer, T., 2001. On the response of the Atlantic Ocean to climatic changes in high latitudes: Sensitivity studies with a sigma coordinate ocean model, In: *The Oceans and Rapid Climate Change: Past, Present and Future*, D. Seidov, B. J. Haupt and M. Maslin (Eds.). American Geophysical Union, 199-215.

Ezer, T. and G. L. Mellor: 1994 "Diagnostic and prognostic calculations of the North Atlantic circulation and sea level using a sigma coordinate ocean model" *J. Geophys. Res.*, 99(C7), pp. 14,159-14,171.

Ezer, T., and G. L. Mellor, 2004. A generalized coordinate ocean model and a comparison of the bottom boundary layer dynamics in terrain-following and in z-level grids. *Ocean Modelling*, 6(3-4), 379-403.

Ezer, T., H. Arango and A. F. Shchepetkin: 2002. "Developments in terrain-following ocean models: intercomparisons of numerical aspects", *Ocean Modelling*, 4, pp. 249-267

Gan, J., L. A. Mysak and D. N. Strub, 1998. Simulation of the South Atlantic Ocean circulation and its seasonal variability. *J. Geophys. Res.*, 103(C5), 10,241-10,251

Garfield, N. III - The Brazil Current at Subtropical Latitudes. Ph.D Disertation. University of Rhode Island,1990, 122 pp.

Gordon, A.L. and C.L. Greengrove, 1986: "Geostrophic circulation of the Brazil-Falkland Confluence." *Deep Sea Research*, 33, pp. 573-585.

Le Blond, PH and Mysak, LA, 1978 : *Waves in the Ocean*. 1a Edição. Elsevier Scientific Publishing, Amesterdã.

Le Provost, C., M.L. Genco, F. Lyard, P. Vincent & P. Canceil, 1994. Spectroscopy of the world ocean tides from a finit element hydrodynamic model. *Journal of Geophysical Research*,99(C12): 24.777-24.797.

Lima J. A. M., 1997: Oceanic circulation on the Brazilian shelf break and continental slope at 22°S. Tese De Doutorado. University Of New South Wales. Australia.

Mascarenhas Jr, A S 1985 - "Revisão sobre o cálculo da tensão de cisalhamento do vento sobre o oceano." In: Relatório Interno do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, n.14, pp.1-10

Mellor, G. L., and T. Yamada, Development of a tubulence closure model for geophysical fluid problems, *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 20, 851-875, 1982.

Mascarenhas Jr., A. DS., Miranda, L. B., y Rock, N. J., 1971, "A study of the oceanographic conditions in the region of Cabo Frio." *Fertility in the Sea*, Gordon & Breach, vol. 1, pp. 285-308.

Mellor, G. L., 2004. "User's Guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model". *Atmos. And Oceanic Sci. Program*, Priceton University, Princeton, N. J., USA.

Munk, W., 2000 – "Achievements in Physical Oceanography" In: 50 Years of Ocean Discovery: National Science Foundation 1950-2000 Ocean Studies Board, National Research Council, 276 pp.

Peterson, R.G. and L. Stramma, 1990: "Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean." *Progress in Oceanography*, 26, pp. 1-73.

Peterson, R.G., L. Stramma, and G. Kortum, 1996: "Early concepts in charts and circulation." *Progress in Oceanography*, 37, pp. 1-115.

Schmid, C., H. Schäfer, G. Podestá & W. Zenk, 1995. "The Vitória Eddy and Its Relation to the Brazil Current." *Journal of Physical Oceanography*, 25: pp. 2532-2546.

Signorini, S.R., 1978: On the circulation and volume transport of the Brazil Current between Cape of Sao Tome and Guanabara Bay, *Deep-Sea Research*, 25, 481-490 p.

Silveira, I. C.A. da; A. K. Schmidt; E.J.D. Campos; S. S. de Godoi; Y. Ikeda, 2001. "A Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira." *Rev. Bras. Oceanogr.*, 48(2), pp. 171-183.

Speer, K.G., J. Holfort, T. Reynard and G. Siedler, 1996: "South Atlantic heat transport at 11°S." In: The South Atlantic: Present and Past Circulation [Wefer, G., W. H. Berger, G. Siedler and D. J. Webb (eds.)]. Springer, pp. 105-120.

Stevens, I. & Johnson J. 1997 – "Sensitivity to open boundary forcing in a fine resolution model of the Iberian shelf-slope region," *Annales Geophysicae* 15, pp. 113-123.

Stommel, H. 1965. The Gulf Stream-a physical and dynamical description. Univ. Calif. Press, Berkeley, and Cambridge Univ. Press, Lond., 248 p.

Stramma, L., Y. Ikeda, R.G. Peterson, 1990: "Geostrophic transport in the Brazil Current region north of 20°S." *Deep-Sea Research*, 37 (12), pp. 1875-1886.

Stramma L., 1991: Geostrophic Transport of the South Equatorial Current in the Atlantic. *Journal of Marine Research*, 49. 281 - 294p



RELATÓRIO TÉCNICO [REV. 00]

MODELAGEM HIDRODINÂMICA
Bloco BM-C-41

Preparado para:
HABTEC

Preparado por:
Maurício da Rocha Fragoso
Leandro Calil

30 de julho de 2008

PROOCEANO

AV. RIO BRANCO, 311 / 1224 CENTRO
CEP 20.0040-009 RIO DE JANEIRO RJ
TEL | FAX +55 21 2532-5666
WWW.PROOCEANO.COM.BR

RELATÓRIO TÉCNICO [REV.00]

MODELAGEM HIDRODINÂMICA
Bloco BM-C-41

Preparado para:
HABTEC

Preparado por:
Maurício da Rocha Fragoso
Leandro Calil

30 de julho de 2008

ÍNDICE:

I. INTRODUÇÃO.....	4
I.1. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS	4
<i>I.1.1. Circulação Superficial.....</i>	<i>4</i>
<i>I.1.2. Circulação Intermediária</i>	<i>4</i>
<i>I.1.3. Circulação Profunda</i>	<i>4</i>
<i>I.1.4. Vórtices e Meandros</i>	<i>4</i>
II. MODELO NUMÉRICO UTILIZADO	4
III. DOMÍNIO DO MODELO	4
IV. Condições de Contorno	4
IV.1. Condição de Contorno de Fundo	4
IV.2. Condição de Contorno de Superfície	4
IV.3. Condição de Contorno Lateral	4
<i>IV.3.1. Elevação do Nível do Mar</i>	<i>4</i>
<i>IV.3.2. Correntes</i>	<i>4</i>
<i>IV.3.3. Temperatura</i>	<i>4</i>
V. RESULTADOS.....	4
V.1. Avaliação do Modelo	4
<i>V.1.1. Transporte de Volume</i>	<i>4</i>
<i>V.1.2. Estrutura Termohalina</i>	<i>4</i>
<i>V.1.3. Campos de Corrente</i>	<i>4</i>
VI. CONCLUSÕES.....	4
VII. BIBLIOGRAFIA.....	4

I. INTRODUÇÃO

Para simular o transporte de qualquer material no oceano é necessário conhecer o comportamento das correntes marinhas da região em questão. Para tal, pode-se recorrer à técnica conhecida como fluidodinâmica computacional, que consiste em reproduzir o comportamento de fluidos em resposta às forças atuantes no meio, através da solução numérica das equações que governam os processos envolvidos. Com isso, podem ser obtidos resultados sinóticos e sob diferentes condições de contorno e iniciais, como por exemplo, condições de verão e inverno, de maré de sizígia e quadratura etc.

A capacidade de simular diferentes condições, aliada à obtenção de resultados sinóticos em quatro dimensões (as três do espaço e o tempo), faz da fluidodinâmica computacional uma opção interessante, e em determinados casos, como em regiões com pouca ou nenhuma medição, a única para obter os resultados necessários à modelagem de transporte de materiais no oceano. É imprescindível, no entanto, a realização de comparações dos resultados obtidos pelo modelo hidrodinâmico com dados observados na região, para se ter uma medida da representatividade do modelo em relação ao observado.

Esse relatório apresenta a descrição da simulação hidrodinâmica e seus resultados, utilizados nas modelagens de transporte de óleo para o Bloco BM-C-41.

I.1. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS

A circulação oceânica da região do Bloco BM-C-41 está sob a influência do giro subtropical do Atlântico Sul, que faz parte da circulação de grande escala que ocorre nas bacias dos oceanos mundiais (Peterson & Stramma, 1991). Trata-se de uma circulação complexa, que apresenta variações ao longo da coluna d'água e para um mesmo nível de profundidade pode apresentar intensidades e sentidos diferentes, dependendo da posição geográfica. Na

Figura 1 pode ser observada a localização do Bloco BM-C-41.

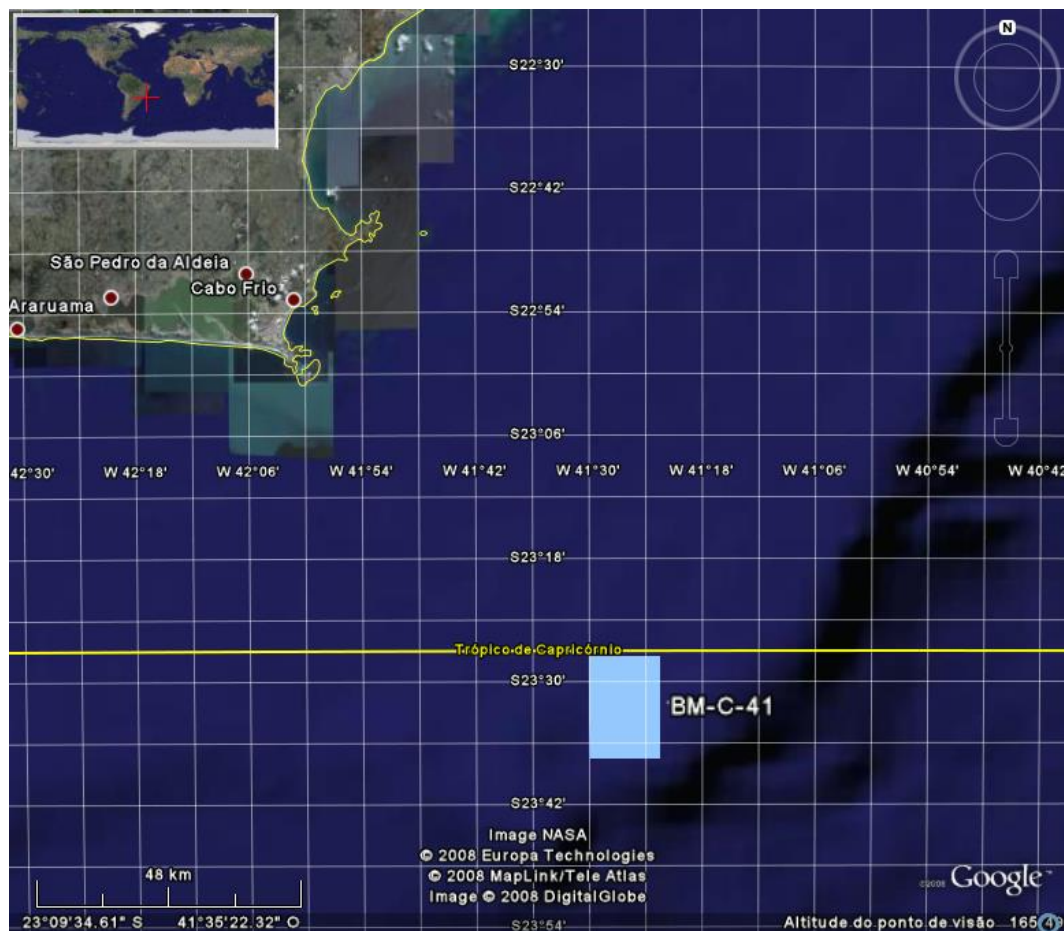


Figura 1: Localização do Bloco BM-C-41.

A circulação oceânica da região pode ser dividida em superficial, intermediária e profunda. Existem poucas medições diretas das correntes e as estimativas sobre a circulação são, em sua maioria, realizadas a partir de dados hidrográficos, o que em primeiro lugar já filtra as variações temporais e pode ainda gerar imprecisões. Mesmo os esforços empreendidos pelos pesquisadores ao longo de todos esses anos não são suficientes para se obter um conhecimento mais aprofundado sobre a circulação dessa região e alguma controvérsia ainda existe, principalmente em relação às circulações intermediária e profunda.

1.1.1. Circulação Superficial

A circulação superficial da Baía de Campos é dominada pela Corrente do Brasil (CB). Apesar de ser creditado a Isaaci Vossius o primeiro reconhecimento e descrição da Corrente do Brasil em 1663 no seu "Tratado Sobre o Movimento dos Mares e Ventos", foi James Rennell em 1832 quem detalhou e até mesmo nomeou a Corrente do Brasil. Além disso, foi

fluxo seja pouco documentado (Castro & Miranda, 1998). Stramma et al. (1990 apud Castro & Miranda, 1998) mostram que entre 16 e 19° S a parte mais a oeste da BC flui para sul longe da costa, ao largo da isóbata de 3000 m. Próximo à cadeia, a velocidade da corrente é de 0,5 a 0,6 m/s com transportes entre 3,8 a 6,8 Sv (Evans et al., 1983). Valores maiores, 9,4 Sv, foram encontrados por Schmid et al. (1995).

A partir desta latitude, a corrente adquire caráter meandrante e se intensifica (Silveira et al., 2000). Lima (1997), utilizando medidas obtidas por correntômetros ao longo de uma ano na região do Cabo de São Tomé (22o S), estimou a transporte de volume como possuindo valor médio de $5,5 \pm 2,6$ Sv e moda de 6,5 Sv, concordando com as estimativas de Peterson & Stramma, (1991). A velocidade em superfície ao largo de Cabo Frio é em torno de 0,5 m/s e o transporte é da ordem de 9 Sv (Signorini, 1978), sendo que mais da metade do fluxo é confinado aos primeiros 200 metros de coluna d'água (Silveira et al., 2000). Ao sul de Cabo Frio, a CB se intensifica a uma taxa de 5% a cada 100km (Gordon & Greeengrove, apud Castro & Miranda, 1998).

1.1.2. Circulação Intermediária

A circulação intermediária, entre as profundidades de 400 e 1500m está associada ao fluxo da Água Intermediária Antártica (AIA). O padrão de circulação da AIA (Figura 3) ainda gera alguma polêmica entre os pesquisadores, porém a teoria mais aceita parece ser a de que a AIA seria formada na Convergência Antártica fluindo para níveis intermediários indo em direção ao norte até a região da confluência Brasil-Malvinas (~38°S), onde seguiria em direção ao leste como parte de uma recirculação mais profunda associada ao Giro Subtropical. Esta fluiria então anticiclonicamente e ao sul da latitude de 25° S, atingiria novamente a costa do Brasil, bifurcando-se e seguindo parte em direção ao Equador e parte fluindo para sul ao longo da costa, com o eixo da divergência paralelo ao talude entre as latitudes de 27° S e 28° S (Silveira et al., 2000).

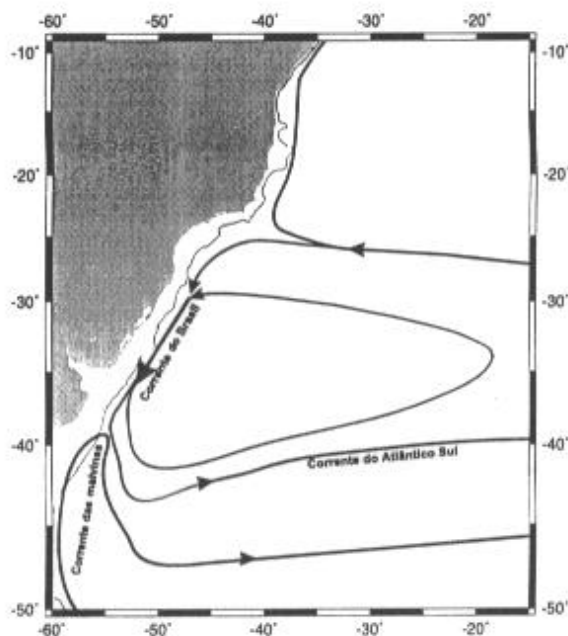


Figura 3: Esquema da circulação intermediária no atlântico sudoeste. Fonte: Silveira et al., (2000).

A parte da AIA que flui para norte foi medida por Evans & Signorini (1985) entre 23 e 20,5° S e na latitude de 11° S (Speer et al., 1996 apud Lima, 1997). Tal fluxo foi denominado por Boebel et al., (1999, apud Silveira et al., 2000) de Corrente de Contorno Oeste Intermediária. Lima (1997) também indica a existência desse fluxo permanente utilizando dados medidos por correntômetros no período de um ano na Bacia de Campos. Esse autor o denominou de Contra-Corrente do Brasil Intermediária, atribuindo a ele um transporte de 5.1 ± 2.8 Sv e uma extensão vertical de 1100 m, estando presente entre as profundidades de 400 e 1500m.

1.1.3. Circulação Profunda

Abaixo da AIA encontra-se a APAN (Figura 4), que ocupa níveis entre 1500 e 3000m e é formada no Atlântico Norte no mar da Groenlândia. É consenso na literatura que a APAN se apresenta como um fluxo organizado fluindo para o sul ao longo do contorno oeste até cerca de 32° S, onde ao menos uma parte da corrente retorna em direção ao equador (Silveira et al., 2000).

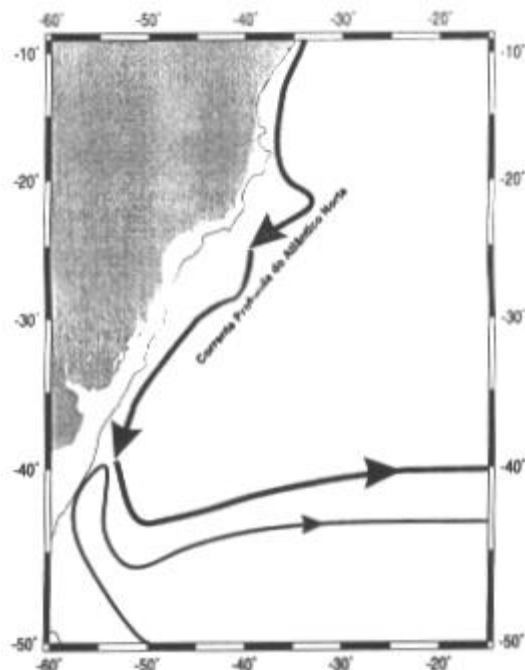


Figura 4: Esquema da Circulação Profunda no Atlântico Sudoeste. Fonte: Silveira et al. (2000).

1.1.4. Vórtices e Meandros

Os fenômenos transientes da Corrente do Brasil são fatores bastante relevantes de sua dinâmica, sendo primeiro observados no final da década de 1950 (DHN, 1969). Apesar da Corrente do Brasil apresentar transporte inferior ao de outras correntes de contorno oeste, possui muitos vórtices e meandros (Calado, 2000). Essas feições oceanográficas representam um desafio à previsão oceânica, uma vez que sua variabilidade espaço-temporal irá acrescentar um alto grau de variabilidade na circulação local, o que contribui para uma menor precisão das previsões de curto e médio período.

Segundo Silveira et al. (2000), uma das primeiras descrições de meandros e vórtices da CB foi realizada por Mascarenhas e colaboradores (1971), que descreveram a presença de vórtices e meandros ciclônicos e anticiclônicos ao largo de Cabo Frio utilizando mapas de topografia dinâmica. Eles especulam que as feições topográficas da região favoreceriam a geração destes vórtices e meandros. Signorini (1978) apud Silveira et al. (2000) observou um vórtice com cerca de 100 km de raio em região de águas profundas (>1000m) com extensão vertical de 500 m ao norte de Cabo Frio, realizando análise dinâmica em dados hidrográficos. Campos (1995 apud Silveira et al., 2000) atribui a ocorrência destes fenômenos transientes à mudança de orientação da costa a partir de Cabo Frio e ao gradiente de batimetria, já que a plataforma ao norte de Cabo Frio é estreita e se torna mais larga e suave na Bacia de Santos. Assim, a CB que flui ao longo da quebra da plataforma, por inércia, dirigir-se-ia em direção às águas mais profundas na latitude de Cabo Frio. Utilizando o princípio de conservação de vorticidade potencial, o autor mostra que a CB iria meandrar ciclonicamente. Evidências de meandros e vórtices ciclônicos e

anticiclônicos foram também detectados em imagens de satélite, sugerindo que o início da atividade ciclogênica pode ocorrer ao largo do Cabo de São Tomé (22°S).

II. MODELO NUMÉRICO UTILIZADO

Para as simulações hidrodinâmicas da região do Bloco BM-C-41 foi utilizado o modelo conhecido como Princeton Ocean Model - POM (Blumberg & Mellor, 1987). O POM é um modelo numérico hidrodinâmico não-linear, de equações primitivas, com superfície livre, tridimensional, de diferenças finitas, projetado para simular correntes costeiras e oceânicas. O tratamento dos efeitos turbulentos é realizado com o modelo de fechamento turbulento de segunda ordem, nível 2.5 de Mellor & Yamada (1982), o que permite uma representação mais realística da camadas de Ekman de superfície e de fundo (Blumberg & Mellor, 1987). Como este modelo foi projetado para incluir os efeitos decorrentes de profundidades irregulares, o sistema de coordenadas cartesianas é modificado com a introdução do conceito da coordenada generalizada sigma, no qual a coordenada vertical z , orientada no sentido contrário à aceleração da gravidade, é substituída pela coordenada sigma (σ), que tem como referência, ao mesmo tempo, o fundo e a superfície livre do mar. Os modelo de coordenada sigma, ou "seguidores-de-terreno" são especialmente adequados em regiões com topografia de fundo variável e nas quais os processos de interação com a camada-limite de fundo são importantes. A principal atração de tais modelos reside na representação suave da topografia e em sua habilidade em simular as interações entre o fluxo e a batimetria (Ezer et al., 2002). A transformação de z para sigma é realizada conforme indicado a seguir:

$$\sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta} \quad \text{II.1}$$

onde η é a elevação da superfície livre e H é a profundidade local. Assim, σ varia de 0, na superfície, a -1 , no fundo. Desta maneira, o modelo consegue representar bem os efeitos do relevo de fundo e do contorno de costa sobre a circulação (Figura 5), o que é importante quando se está modelando regiões onde ocorra variações topográficas significativas.

onde η é a elevação da superfície livre e H é a profundidade local. Assim, σ varia de 0, na superfície, a -1 , no fundo. Desta maneira, o modelo consegue representar bem os efeitos do relevo de fundo e do contorno de costa sobre a circulação (Figura 5), o que é importante quando se está modelando regiões onde ocorra variações topográficas significativas.

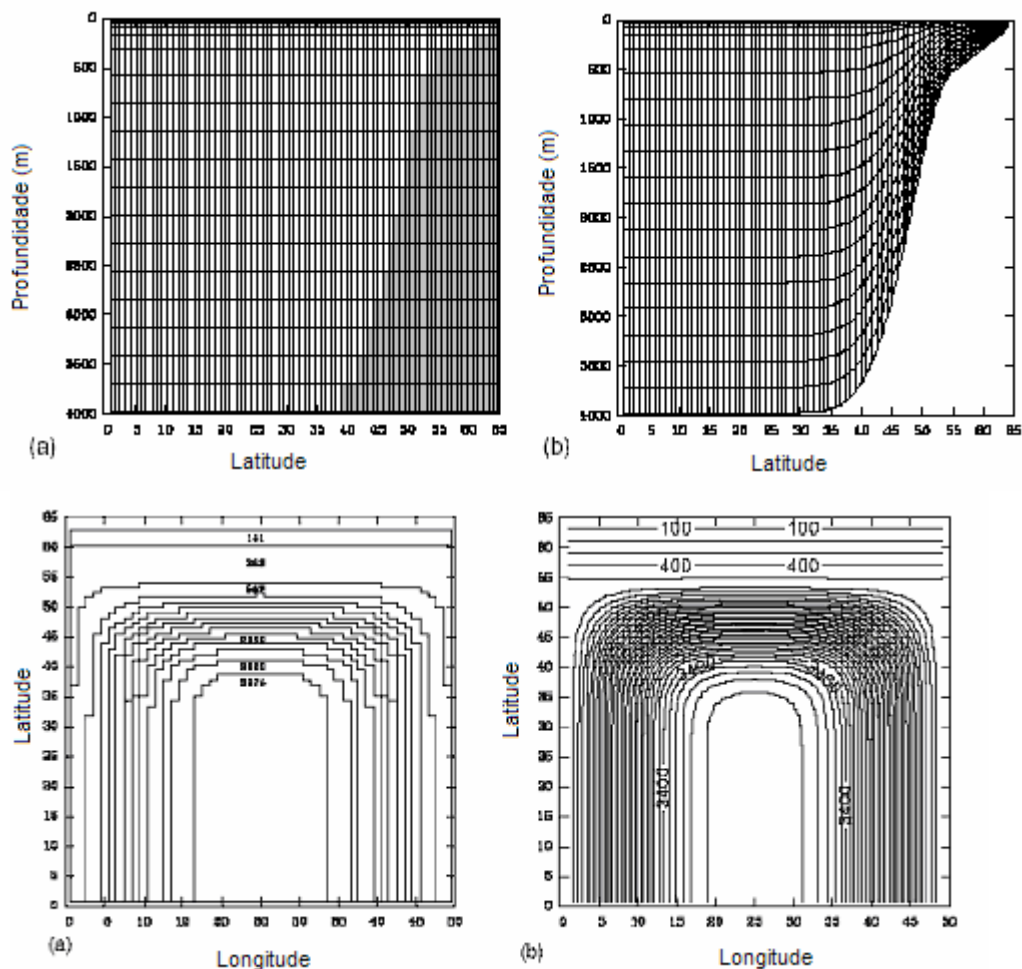


Figura 5: Representação da topografia de fundo em perfil (painel superior) e em planta (painel inferior) em grades com coordenada vertical cartesiana Z (a) e coordenada vertical sigma (b). Fonte: Ezer & Mellor, (2004).

O POM é portanto, um modelo adequado para simular as correntes em baías, estuários, regiões costeiras, Plataforma Continental e bacias oceânicas como pode ser visto nos artigos que tratam das simulações em regiões de oceano profundo (Ezer & Mellor, 1994; Gan *et al.*, 1998; Ezer, 2001).

O conjunto de equações governantes do POM é formado pelas equações primitivas do movimento, fazendo uso das aproximações de Boussinesq, plano β e hidrostática. Referenciando-se a um sistema de coordenadas cartesianas ortogonais com valores positivos de x no sentido leste e de y no sentido norte e realizando a transformação para coordenada sigma, tem-se o conjunto de equações básicas utilizadas pelo POM (Mellor, 2004).

Equação da continuidade:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad \text{II.2}$$

Equação da conservação da quantidade de movimento na direção zonal:

$$\frac{\partial UD}{\partial t} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x} + \frac{\partial UVD}{\partial y} + \frac{\partial U\omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma}^{\sigma'} \left[\frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] + F_x \quad \text{II.3}$$

Equação da conservação da quantidade de movimento na direção meridional:

$$\frac{\partial VD}{\partial t} + \frac{\partial UVD}{\partial x} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y} + \frac{\partial V\omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma}^{\sigma'} \left[\frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial y} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + F_y \quad \text{II.4}$$

Equação da conservação de calor:

$$\frac{\partial \theta D}{\partial t} + \frac{\partial \theta UD}{\partial x} + \frac{\partial \theta VD}{\partial y} + \frac{\partial \theta \omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma} \right] + F_{\theta} - \frac{\partial R}{\partial z} \quad \text{II.5}$$

Equação da conservação de sal:

$$\frac{\partial S D}{\partial t} + \frac{\partial SUD}{\partial x} + \frac{\partial SVD}{\partial y} + \frac{\partial S\omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right] + F_s \quad \text{II.6}$$

Equação de estado da água do mar:

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

Nestas equações $D = H + \eta$, U e V são os componentes zonal e meridional da velocidade, respectivamente, f é o parâmetro de Coriolis, g é a aceleração da gravidade, ρ é a densidade, ρ_0 é a densidade de referência, ρ' é a anomalia de densidade, θ é a temperatura potencial, S é a salinidade, KM é o coeficiente de viscosidade cinemática vertical, KH é o coeficiente de difusão de calor vertical, $\partial R / \partial z$ é o termo de fluxo de calor radiativo e ω é a velocidade vertical transformada, correspondente à componente de velocidade normal às superfícies sigma. Essa transformação se dá segundo:

$$W = \omega + U \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) + V \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) + \sigma \frac{\partial D}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial \sigma} \quad \text{II.8}$$

Os termos F_x , F_y , F_θ e F_S (atrito turbulento) são os chamados termos sub-grade, ou seja, com resolução menor do que a grade, sendo então necessárias parametrizações para resolvê-los (Calado, 2000), representadas nas equações **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** a **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**

$$F_x = \frac{\partial}{\partial x} \left(2A_M \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \quad \text{II.9}$$

$$F_y = \frac{\partial}{\partial x} \left[A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left(2A_M \frac{\partial V}{\partial y} \right) \quad \text{II.10}$$

$$F_{S,\theta} = \frac{\partial}{\partial x} \left[A_H \frac{\partial(S,\theta)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_H \frac{\partial(S,\theta)}{\partial y} \right] \quad \text{II.11}$$

O termo AM é resolvido utilizando a solução de Smagorinsky:

$$A_M = C \Delta x \Delta y \left[\left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad \text{II.12}$$

Onde C é a constante de Smagorinsky e A_H é o coeficiente de difusão de calor horizontal.

Esse conjunto de equações é resolvido utilizando-se uma diferenciação centrada no tempo e no espaço, também conhecida como Leap-frog, que é capaz de resolver apropriadamente os processos altamente dependentes do tempo e não-lineares (Blumberg & Mellor, 1987). O POM faz uso da técnica de separação de modos (mode splitting), na qual as equações do movimento são separadas em modo externo (ou barotrópico) e modo interno (ou baroclínico), permitindo que sejam utilizados intervalos de tempo (t) diferentes na integração do modelo. O intervalo de tempo para o modo interno pode ser bem maior do que a do modo externo, já que a velocidade da onda interna é bem menor do que a externa.

Assim, essa técnica propicia uma economia significativa de tempo de processamento ao mesmo tempo que não compromete a estabilidade do modelo, satisfazendo a condição de Courant-Friedrichs-Levy (CFL).

O sistema de coordenadas horizontal utiliza coordenadas ortogonais curvilíneas, que permite resolução variável de grade e o esquema de diferenciação aplicado é o conhecido como grade C de Arakawa. A linguagem de programação utilizada na versão oficial do modelo é Fortran77.

O grupo de usuários registrados do POM é constituído por mais de dois mil pesquisadores de dezenas de países, que já publicaram quase 700 artigos com aplicações do modelo para estudos da circulação em estuários, regiões costeiras, e oceano aberto, enfocando fenômenos de pequena escala até grande escala e com escalas temporais da ordem de horas até escalas sazonais.

III. DOMÍNIO DO MODELO

O domínio do modelo (Figura 6) compreende a região entre as latitudes de 10° e 27° S e entre as longitudes de $32,5^\circ$ e 50° W. Possui extensão de cerca de 1890 km por 1945 km, comparável ao Raio de Deformação de Rossby externo (da ordem de 1000 km para a região). Foi escolhido de maneira a poder representar a maior parte da energia e da dinâmica da CB e também para que os contornos abertos da grade pudessem ficar longe o suficiente da área de maior interesse. A distância entre qualquer das três fronteiras abertas (sul, leste e norte) e o Bloco BM-C-41 é sempre maior do que 200 km.

A resolução espacial escolhida para o POM foi de 5 minutos de arco (aproximadamente 9 km). Essa resolução é refinada o suficiente para capturar os fenômenos oceanográficos de mesoescala, responsáveis por mais de 99% da energia cinética dos oceanos (Munk, 2002). O Raio de Deformação de Rossby Interno (R_i) na região foi calculado para comparar a escala dos fenômenos baroclínicos de mesoescala com a

resolução horizontal do modelo. O cálculo do R_i pode ser realizado através da seguinte formulação (Le Blond & Mysak, 1978):

$$R_i = \frac{\sqrt{g' / h_e}}{f} \quad \text{III.1}$$

onde f é o parâmetro de Coriolis, g' é a gravidade reduzida dada por:

$$g' = g \left(\frac{\Delta \rho}{\rho_2} \right) \quad \text{III.2}$$

onde $\Delta \rho$ é a variação de densidade ($\rho_2 - \rho_1$) entre as camadas.

e h_e é a profundidade equivalente dada por:

$$h_e = \frac{(h_1 * h_2)}{(h_1 + h_2)} \quad \text{III.3}$$

onde h_1 é a espessura da primeira camada e h_2 da segunda.

Efetando o cálculo para valores típicos da região, onde considera-se a latitude de 23° S para f , a espessura de 400 m para h_1 (camada contendo o transporte a Corrente do Brasil (Lima, 1997)), 800 m para h_2 (camada contendo o transporte da AIA (Lima, 1997)) e os valores de densidade obtidos a partir da temperatura e salinidade dessas camadas, encontramos um R_i de cerca de 25 km. Assim, o espaçamento de grade horizontal do modelo é, aproximadamente, três vezes menor do que o Raio de Deformação de Rossby Interno da região. Quando a resolução horizontal de um modelo numérico é similar ao R_i , pode-se considerá-lo como eddy permitting, ou eddy resolving (Stevens & Johnson, 1997), ou seja, capaz de resolver os vórtices de mesoescala. Pode-se afirmar então que o modelo numérico em questão possui resolução horizontal adequada para receber as condições de contorno e iniciais impostas e capacidade de representar todos os fenômenos oceanográficos relevantes.

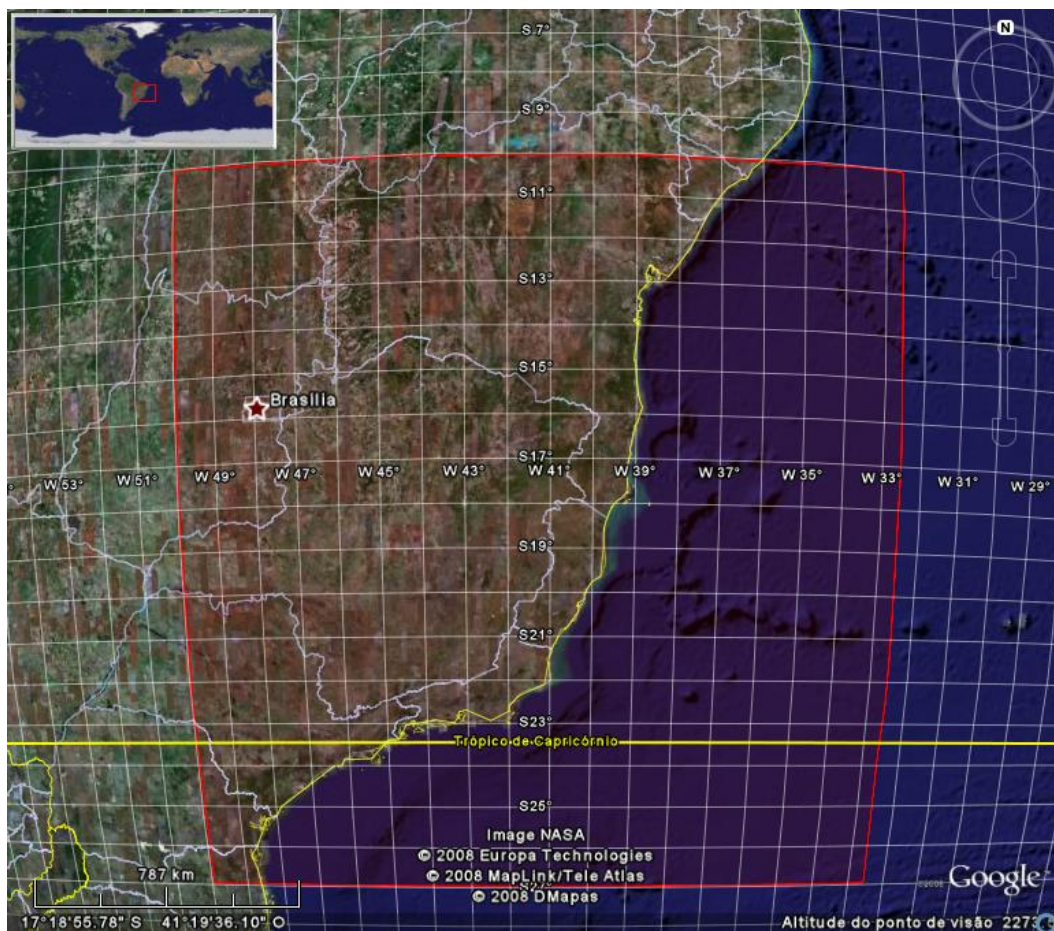


Figura 6: Domínio do modelo hidrodinâmico.

A situação ideal para se inicializar um modelo seria obter-se dados de temperatura e salinidade em cada ponto de grade (nas três dimensões), observados simultaneamente, o que é inviável. Desta forma, deve-se procurar uma alternativa, como a obtenção de informações de bancos de dados que contenham o máximo de observações simultâneas com a resolução mais próxima à grade do modelo em questão. Isso nos traz à escolha dos dados de condição inicial do modelo do BM-C-41. Existem alguns bancos de dados que contêm informações de temperatura e salinidade em todo o globo e muitos com informações sazonais ou mensais. Os dados disponíveis são resultantes da aplicação de técnicas de Análise Objetiva aos dados obtidos de variadas fontes como navios, bóias, satélites e fundeios. Com isso, obtêm-se matrizes de dados globais em várias profundidades e tempos. Dentre esses bancos de dados, podemos citar o Levitus do Centro Nacional de Dados Oceanográficos dos Estados Unidos (National Oceanographic Data Center - NODC) como exemplo. Os dados de temperatura e salinidade são disponibilizados sem custo ao público através da Internet em matrizes cuja mínima resolução espacial é de $1^\circ \times 1^\circ$ (cerca de 110×110 km).

Para o caso do BM-C-41, optou-se pela utilização dos dados gerados pelo modelo de circulação oceânica global MOM (Modular Ocean Model), desenvolvido pelo Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL / NOAA), da Universidade de Princeton para representar o estado inicial. O MOM é um modelo formulado matematicamente pelas equações primitivas completas, escritas em coordenadas esféricas, que utilizam as aproximações hidrostática e de Boussinesq e que simula as correntes em todo o globo. Os dados do MOM mostraram-se como uma alternativa mais atraente, pois o modelo utiliza os campos Levitus para sua inicialização, realizando também assimilação de dados ao longo da rodada e, além disso, está em balanço com as correntes que servirão de condição de contorno para o POM.

Outro fator importante que levou à escolha dos dados do MOM é a grande base de dados disponível na rede (<http://data1.gfdl.noaa.gov/nomads/forms/assimilation.html>). Essa base possui 20 anos de resultados do MOM, com médias mensais de vários parâmetros (entre eles temperatura, salinidade e as componentes u e v da velocidade) para os anos de 1981 a 2000, com resolução zonal e meridional de 1° (aproximadamente 110 km), possuindo 40 níveis de profundidade (da superfície até 4400 m). Tais dados são os resultados do experimento denominado Ocean Data Assimilation Experiment, conduzido por várias instituições americanas, sendo um dos seus objetivos a geração de dados para inicialização de modelos numéricos. Os detalhes a respeito desse experimento podem ser encontrados na página da Internet (<http://www.gfdl.noaa.gov/~mh2/IRI-ARCS/>).

Para finalmente obter-se os dados de condição inicial do modelo foi realizada uma análise estatística a fim de verificar se as médias mensais dos 20 anos seriam satisfatórias para representar o campo inicial do POM. Para tal, foi calculada a média de cada mês entre 1980 e 1999 e os respectivos desvios-padrão. Exemplos desses campos para o mês de julho são mostrados da Figura 7 a Figura 10. Os valores de desvio-padrão são baixos comparados às médias (cerca de 2%), o que mostra que a média é nesse caso um bom estimador para o campo inicial.

Desta forma, a inicialização do modelo foi realizada com o campo médio dos períodos de janeiro a junho e julho a dezembro obtidos a partir dos resultados dos 20 anos de simulação do MOM interpolados para a resolução espacial (vertical e horizontal) do POM, o que é considerado um aninhamento de modelos. Nesse caso, se está aninhando o modelo regional para a região do BM-C-41 (POM) em um modelo global (MOM).

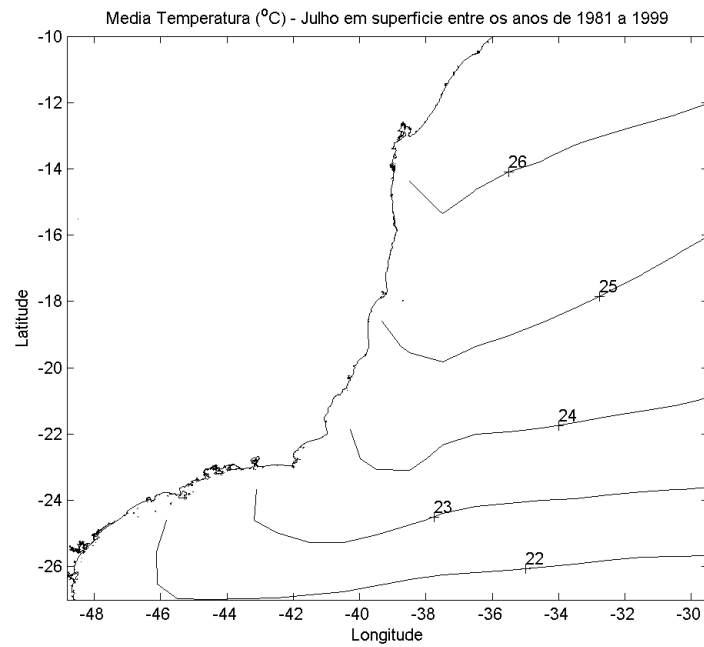


Figura 7: Temperatura média de julho em superfície entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

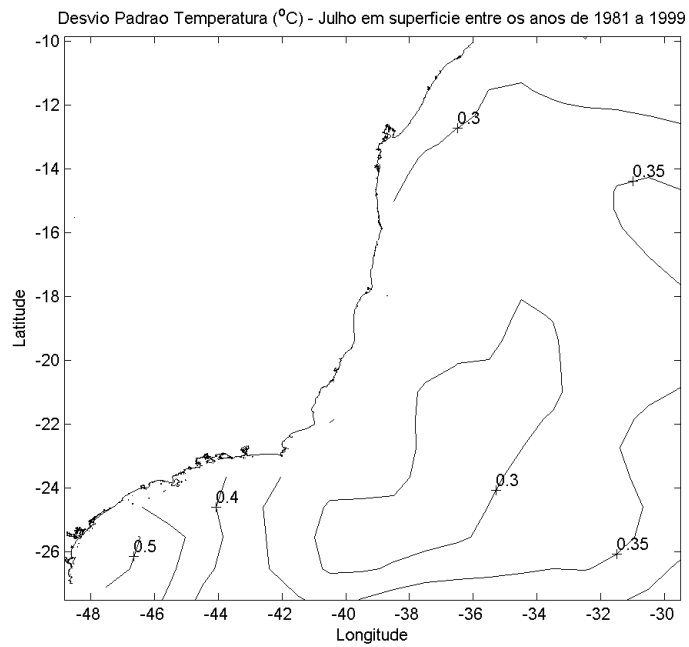


Figura 8: Desvio-padrão da temperatura de julho em superfície entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

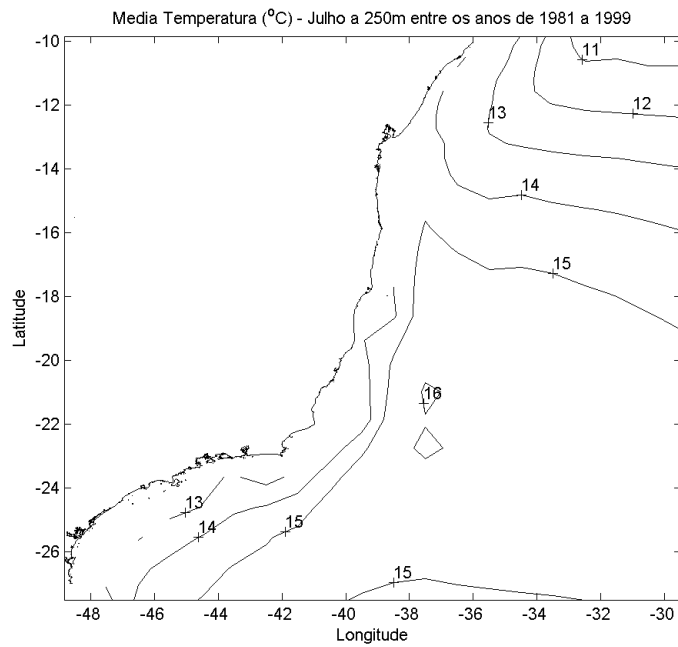


Figura 9: Temperatura média de julho a 250 m entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

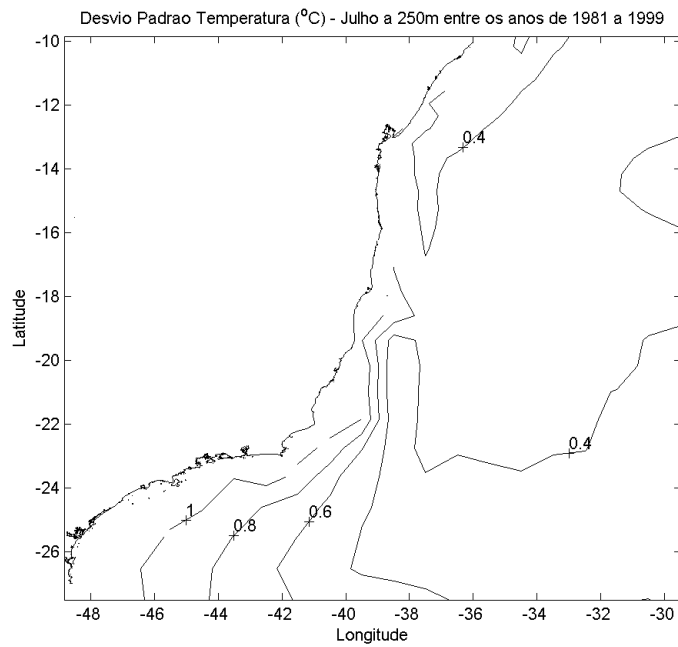


Figura 10: Desvio-padrão da temperatura de julho a 250 m entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

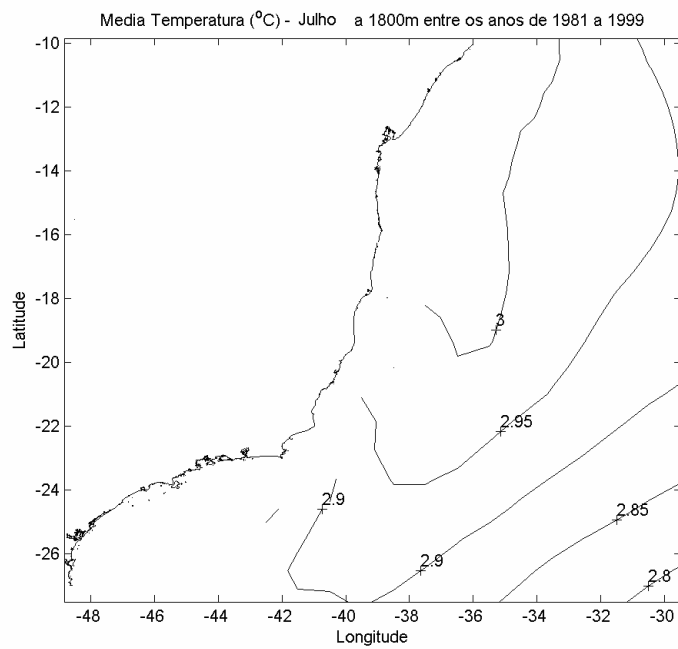


Figura 11: Temperatura média de julho a 1800 m entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

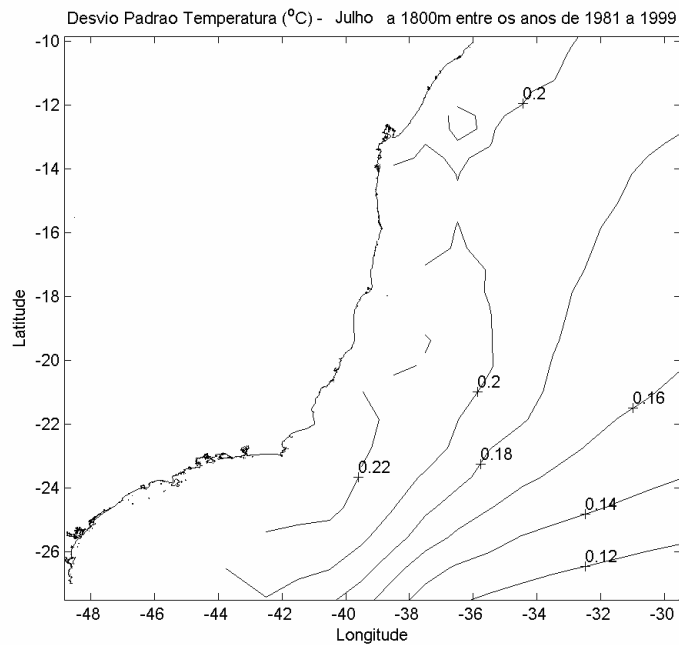


Figura 12: Desvio-padrão da temperatura de julho a 1800 m entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

A partir desses dados médios, realizou-se uma interpolação horizontal e vertical para a grade do POM. Na horizontal os dados foram interpolados para 5 minutos de resolução e na vertical, para os 15 níveis sigma da grade. Exemplos dos campos de temperatura e salinidade médios para o mês de julho, já com a resolução da grade do POM são apresentados da Figura 13 a Figura 15.

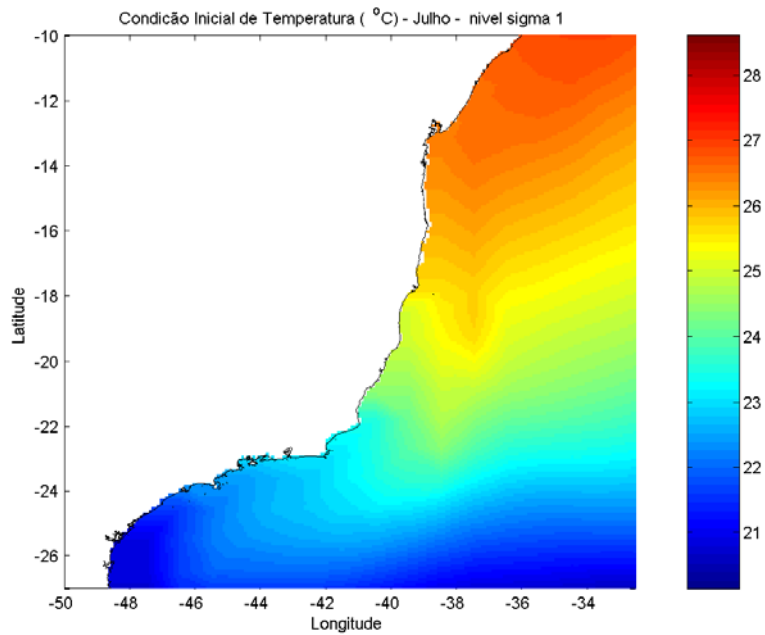


Figura 13: Campo de temperatura interpolada para a grade do POM. Média de julho na 1ª camada sigma.

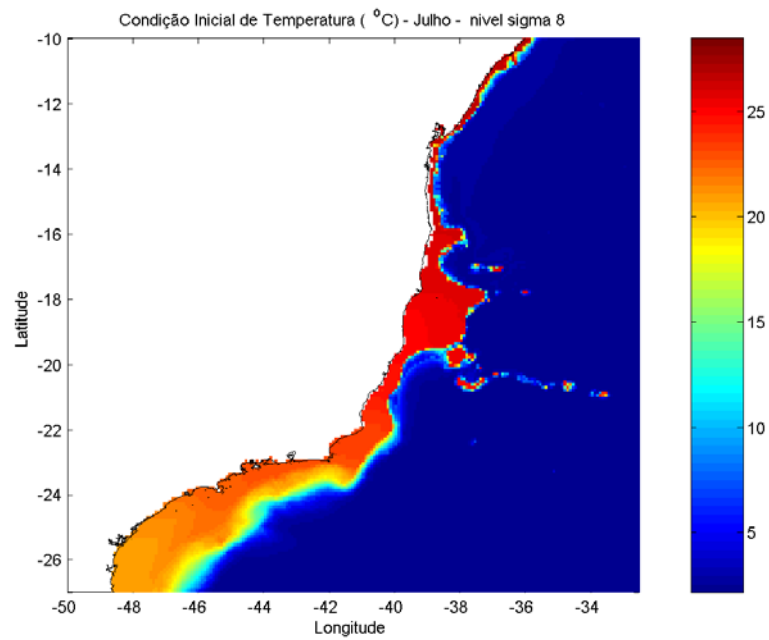


Figura 14: Campo de temperatura interpolada para a grade do POM. Média de julho na 8ª camada sigma.

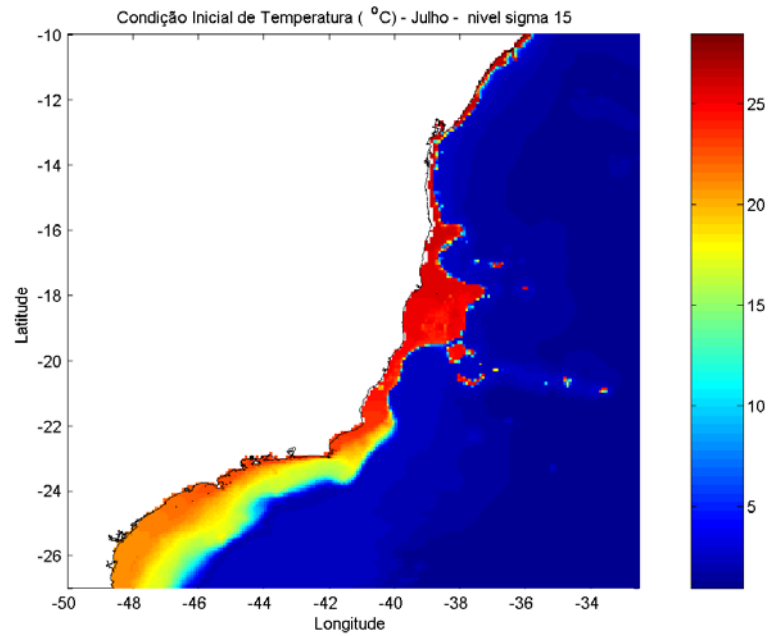


Figura 15: Campo de temperatura interpolada para a grade do POM. Média de julho na 15ª camada sigma.

IV. Condições de Contorno

Quando se utiliza um modelo de área limitada, como é o caso do POM, um dos fatores primordiais é uma escolha adequada das condições de contorno do modelo (Figura 16). Tal escolha deve ser realizada com bastante critério, uma vez que os resultados serão consequência das condições escolhidas.

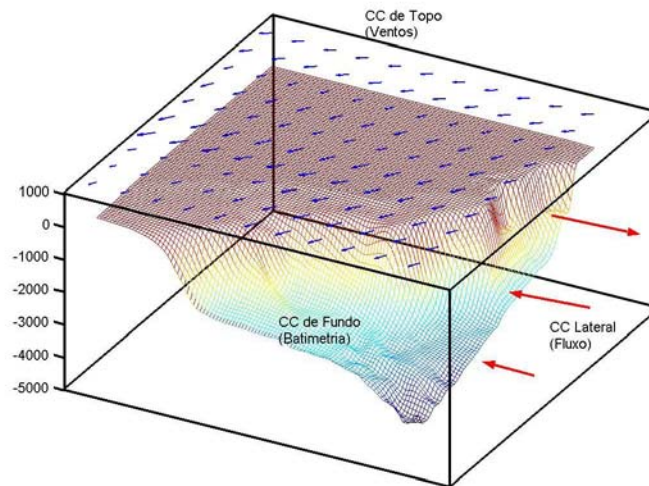


Figura 16: Representação esquemática das condições de contorno a serem definidas em um modelo de área limitada.

IV.1. Condição de Contorno de Fundo

Os dados de batimetria da região foram obtidos com base nos dados ETOPO2 (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/fliers/01mgg04.html>), que possui batimetria e topografia globais com resolução de 2 minutos de arco (cerca de 3,6 km). Esses dados foram então interpolados para a grade do modelo método de Kriging. Após tratamento com um filtro gaussiano bidimensional, obteve-se a matriz de topografia do fundo com 5 minutos de arco de resolução espacial utilizada no modelo hidrodinâmico (Figura 17).

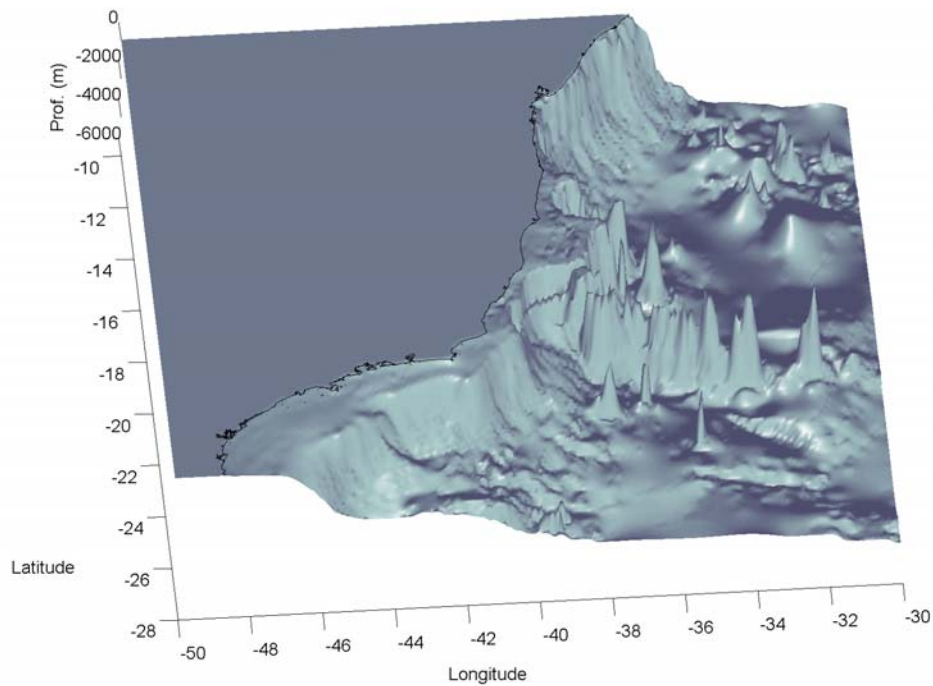


Figura 17: Batimetria da grade do modelo numérico.

IV.2. Condição de Contorno de Superfície

O modelo utiliza dados de tensão de cisalhamento do vento (τ) como condição de contorno de superfície. Esse valor é obtido através de dados de velocidade e direção do vento, utilizando a parametrização proposta por Mascarenhas (1985), que relaciona esses dois parâmetros através da equação a seguir:

Sendo $|V|$ o módulo da velocidade (m/s) do vento a 10 m tem-se, para:

$$0 < |V| < 6 \rightarrow \tau = 0,29 + \left(\frac{3,1}{|V|}\right) + \left(\frac{7,7}{|V|^2}\right)$$

IV.1

$$|V| > 6 \rightarrow \tau = 0,6 + (0,07 * |V|) \quad \text{IV.2}$$

Daí, são obtidos os componentes zonal (τ_x) e meridional (τ_y) da tensão de cisalhamento do vento:

$$\tau_x = -u * |V| * \tau * \frac{\rho_{ar}}{\rho_{água}} \quad \text{IV.3}$$

$$\tau_y = -v * |V| * \tau * \frac{\rho_{ar}}{\rho_{água}} \quad \text{IV.4}$$

Onde ρ_{ar} é a densidade média do ar e $\rho_{água}$ é a densidade de referência da água do mar no local.

Para contemplar o efeito do vento sobre a corrente, foram utilizados os dados de vento obtidos a partir da base de dados do NCEP (Reanálise). A Figura 18 e Figura 19. mostram exemplos de campos de vento utilizados na modelagem hidrodinâmica.

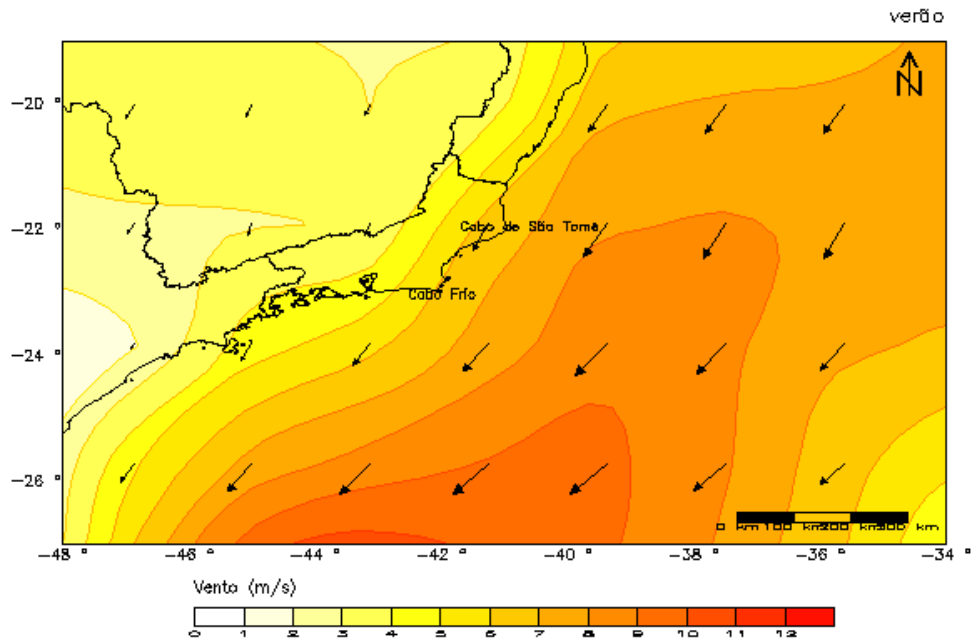


Figura 18: Exemplo do campo de vento (m/s) utilizado para a simulação do período de verão. As cores indicam a magnitude e as setas a direção dos ventos.

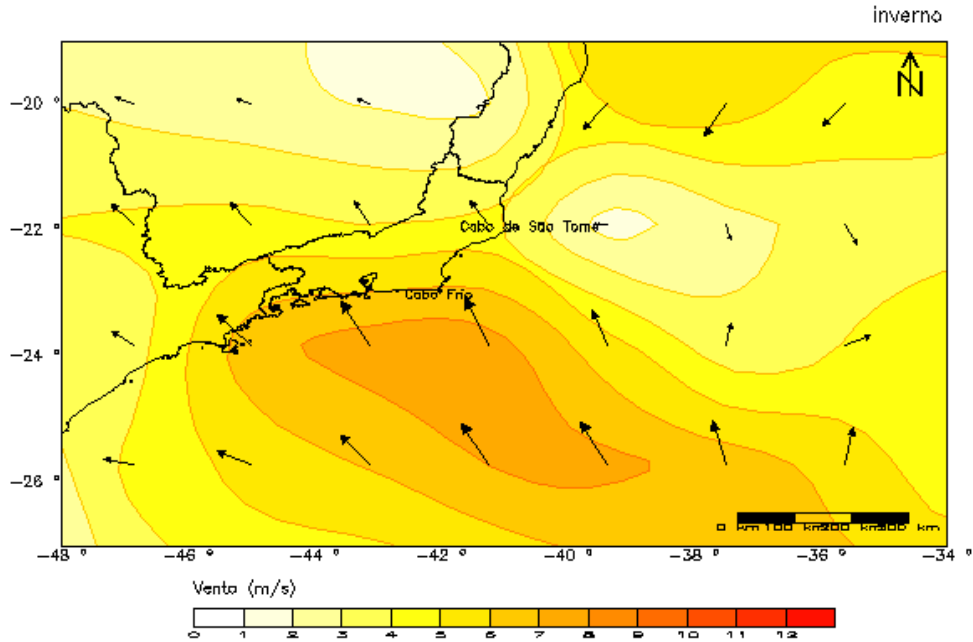


Figura 19: Exemplo do campo de vento (m/s) utilizado para a simulação do período de inverno. As cores indicam a magnitude e as setas a direção dos ventos.

Para representar o balanço de radiação na superfície do oceano, foi utilizado um modelo analítico proposto por Stull (1988). Esse modelo decompõe o termo de radiação líquida (Q^*) em quatro parcelas:

$$Q^* = K \uparrow + K \downarrow + I \uparrow + I \downarrow \quad \text{IV.5}$$

Onde:

- $K \uparrow$ representa a radiação de onda curta (solar) refletida (para cima),
- $K \downarrow$ é a radiação de onda curta transmitida através do ar (para baixo),
- $I \uparrow$ é radiação de onda longa (infravermelho) emitida para cima e
- $I \downarrow$ é a radiação difusiva de onda longa (para baixo)

Os fluxos do oceano para a atmosfera são positivos e os da atmosfera para o oceano são negativos, por definição.

Stull (1988) representa como:

Para o dia:

$$K \downarrow = S * T_K * \text{sen}(\Psi) \quad \text{IV.6}$$

Para a noite:

$$K \downarrow = 0 \quad \text{IV.7}$$

Onde:

S é a irradiância solar (ou constante solar), cujo valor adotado é $S = 1370 \text{ W.m}^{-2}$,

T_K representa a fração da radiação solar que efetivamente chega até a superfície (transmissividade líquida), dada por:

$$T_K = (0,6 + 0,2 * \text{sen}(\Psi)) * (1 - 0,4 * \sigma_{CH}) * (1 - 0,7 * \sigma_{CM}) * (1 - 0,4 * \sigma_{CL}) \quad \text{IV.8}$$

Onde:

σ_C representa a fração de cobertura de nuvens e o subscrito H, M e L, significam, respectivamente, nuvens altas, médias e baixas.

$\text{sen}(\Psi)$ é o ângulo de elevação local do Sol ,dado por:

$$\text{sen}(\Psi) = \text{sen}(\phi) \text{sen}(\delta_S) - \cos(\phi) \cos(\delta_S) \cos \left[\left(\frac{\pi t_{UTC}}{12} \right) - \lambda_e \right] \quad \text{IV.9}$$

onde ϕ é a latitude, λ_e é a longitude (ambos em radianos) e t_{UTC} é o tempo em horas no horário médio de Greenwich. δ_S é o ângulo de declinação solar dado por:

$$\delta_S = \phi_r \cos \left[\frac{2\pi(d - d_t)}{d_y} \right] \quad \text{IV.10}$$

Sendo, ϕ a latitude do Tópico de Câncer, d o número do dia do ano, dt o dia do solstício de verão e dy o número médio de dias no ano.

A radiação de onda curta refletida ($K \uparrow$) é dada por:

$$K \uparrow = -a * K \downarrow \quad \text{IV.11}$$

Onde a representa o albedo que é diretamente proporcional ao ângulo solar, variando entre 0,05 com sol a pino e 1 em ângulos de elevação pequenos.

A radiação de onda longa pode ser simplificada em um único termo (I^*), que é a soma de

$I \downarrow$ e $I \uparrow$:

$$I^* = 0,08 * (1 - 0,2\sigma_{CH} - 0,3\sigma_{CM} - 0,6\sigma_{CL}) \quad \text{IV.12}$$

juntando todas as parametrizações para as radiações de onda longa e curta, o modelo de balanço radiativo torna-se:

Durante o dia:

$$Q^* = (1 - a) * S * T_K * \text{sen}(\Psi) + I^* \quad \text{IV.13}$$

Durante a noite:

$$Q^* = +I^* \quad \text{IV.14}$$

Em virtude da dificuldade em se prever a dinâmica das nuvens, e portanto, a quantidade de nuvens baixas, médias e altas presentes, optou-se por tratar a o balanço de radiação sem a ação de atenuação das nuvens.

Em relação à salinidade em superfície ($wssurf$), a condição de contorno é dada por $wssurf(i,j) = vflux(i,j) * (satm - s(i,j,1))$, onde $vflux$ é a velocidade vertical, $satm$ é a pressão atmosférica e $s(i,j,1)$ é a salinidade na primeira camada sigma.

IV.3. Condição de Contorno Lateral

As condições de contorno abertas (CCA) em modelagem oceânica possuem impacto crucial na solução do interior do domínio. Isso é em boa parte devido ao fato de que as escalas de tempo associadas às propagações de ondas através da região oceânica são comparáveis com o comprimento da simulação em si, quando não são muito menores. Uma onda barotrópica, por exemplo, pode cruzar uma região com profundidade de 100m e largura de 100 km em cerca de 1 hora e uma onda interna com velocidade típica de 1 m/s, a cruza em cerca de 1 dia. Isso é muito menor do que a duração de uma previsão típica, que é de no mínimo 1 semana. Além disso, é fato conhecido que as CCAs levam a soluções matematicamente mal-postas (Oliger e Sundström, 1978) e que não existem soluções genéricas. Atualmente, os problemas de condições de contorno abertas podem ser consideradas como os aspectos mais desafiadores da modelagem numérica de oceano (Marsaleix et al., 2006).

As CCAs possuem basicamente dois objetivos. Primeiramente, estabelecer as condições de entrada no domínio para forçar a solução do interior com campos externos, obtidos de observações ou de modelos de maior escala. Ao mesmo tempo, estas devem funcionar como saída, permitindo que as ondas sejam irradiadas para fora ou que as massas d'água saiam do domínio sem que haja reflexões espúrias nas fronteiras. No entanto, é bastante difícil satisfazer a ambos os objetivos simultaneamente e os modelos tendem a escolher localmente qual deles irá utilizar, de acordo com o caráter de entrada ou saída da dinâmica ali presente. A direção da propagação da onda é freqüentemente obtida através da inversão de uma equação de propagação de onda baseada nas variáveis modeladas nas vizinhanças da fronteiras abertas. O caráter de entrada ou saída da dinâmica local é então determinado pelo sinal da velocidade de fase da onda calculada na direção normal à fronteira (Orlanski, 1976).

A maioria das condições de contorno foram amplamente estudadas nos últimos 20 anos (Palma e Matano 1998, 2000). Esses estudos fornecem comparações ente diversas CCAs em casos bem determinados (propagação de ondas livres, jatos costeiros forçados por vento, propagação de tempestades etc.) para os quais existe uma solução de referência (soluções analíticas ou mesmo numéricas validadas com observações). Em resumo, os esquemas mais utilizados podem ser divididos em três classes (Palma e Matano, 1998): 1) condições radiativas (Blumberg e Kantha, 1985), 2) Métodos característicos (Hedstrom, 1979), 3) Métodos de relaxação (Martinsen e Engedahl, 1987).

No modelo hidrodinâmico do Bloco BM-C-41, são utilizadas CCAs dos 3 tipos. Para velocidades baroclínicas (tanto u , quanto v), temperatura e salinidade nas fronteiras norte e sul, foram utilizadas CCAs com método de relaxação (Zavatarelli, 1999), que será descrita a seguir, enquanto na fronteira leste foi utilizada uma condição radiativa (Orlanski, 1976) para estas mesmas variáveis (vide resposta da questão 2). Já para as velocidades barotrópicas nas 3 fronteiras, utilizou-se a condição proposta por Flather (1976):

$$U_f = -\sqrt{g/h^*}(\eta - \eta_{ext})$$

IV.15

Onde U_f é a velocidade barotrópica na fronteira, g é a aceleração da gravidade, h é a profundidade e η é a elevação do nível do mar, dentro e na fronteira do domínio.

Para elevação do nível do mar foi utilizada uma condição radiativa (gradiente zero) já descrita na resposta anterior.

As CCAs para as velocidades baroclínicas, temperatura e salinidade seguiram o procedimento proposto por Zavatarelli, (1999), no qual dados de um modelo de maior escala (OCCAM, nesse caso) são prescritos nas fronteiras do modelo sendo interpolados linearmente no tempo.

As temperaturas e salinidades nas imediações da fronteira sul e norte são relaxadas para os dados climatológicos do OCCAM conforme Ezer & Mellor (2000):

$$\phi_J^{n+1} = \phi_J^{n+1} + cff * (\phi_{lim} - \phi_J^{n+1}) \quad \text{IV.16}$$

Onde:

Φ representa a temperatura ou salinidade;

J é o índice da linha, e nesse caso, a condição é aplicada nas dez linhas mais próximas das fronteiras;

n representa o tempo (sendo portanto $n+1$ o tempo avançado);

Φ_{lim} representa dados extraídos do OCCAM;

cff é o termo de relaxação, dado por:

$$cff = c1 - (c1 - c2) * \pm(J - B) / 10 \quad \text{IV.17}$$

Onde:

B representa a linha correspondente à fronteira norte ou sul;

$c1$ e $c2$ são termos de relaxação temporal, dados por:

$$C1 = 2 * dti / srt \quad \text{IV.18}$$

$$C2 = 2 * dti / wrt \quad \text{IV.19}$$

Onde Δt é o passo de tempo interno do modelo, Δt_r e Δt_w são os tempos de relaxação. Nesse caso, foi utilizado $\Delta t_r = 5$ dias e $\Delta t_w = 30$ dias.

Com isso, obtém-se uma "zona de relaxação" nas fronteiras, na qual os dados vão sendo forçados para valores climatológicos em períodos que variam de 5 a 30 dias, dependendo da distância da fronteira.

Os dados de correntes foram tratados da mesma maneira que os de temperatura e salinidade (Figura 20).

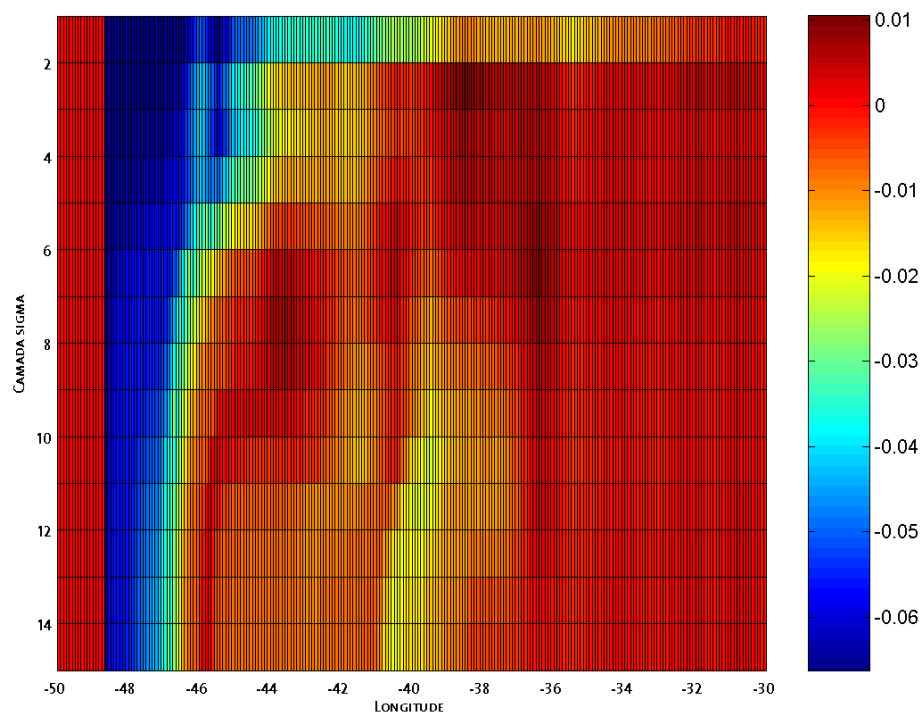


Figura 20: Condição de contorno lateral (fluxo de momento) do modelo hidrodinâmico. Velocidade em (m/s).

Os valores negativos indicam fluxo para sul e os positivos para norte. Notam-se maiores valores em superfície entre as longitudes de 49° e 47° W com direção sul, associados à CB. Entre as longitudes de 44° a 38° W nas camadas sigma de 2 a 9 existe uma contra corrente com direção norte, associada ao fluxo da Água Intermediária Antártica.

IV.3.1. Elevação do Nível do Mar

Para incluir a propagação da onda de maré, foi utilizada a condição de contorno de elevação na fronteira leste do modelo. Esses dados foram obtidos através das constantes

harmônicas fornecidas pelo modelo FES95 modelo (de "Finite Element Solutions"). As equações governantes do FES95 são as equações de águas rasas, barotrópicas e não-lineares, resolvidas utilizando método de elementos finitos. Para a fricção com o fundo é utilizada parametrização quadrática, mais adequada para regiões de águas rasas. A forçante de maré é baseada no desenvolvimento astronômico do potencial de maré, levando em conta as correções dos efeitos de maré terrestre (earth tides) e maré de carga (load tides) sendo ainda realizada assimilação de dados de altimetria de satélite. (Le Provost et al. 1995). A batimetria é retirada do banco de dados ETOPO5 do National Geophysical Data Center (NGDC) do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

São simuladas oito constituintes de maré (M2, S2, N2, K2, N2, K1, O1 e Q1) em todo globo, excluindo-se alguns mares interiores e baías como a Baía de Fundy. A grade do modelo FES95 apresenta resolução variável, porém os resultados que foram colocados a disposição da comunidade científica estão em grades de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. A partir destes, foram então retirados os dados de fase e amplitude de sete componentes (M2, S2, N2, K2, K1, O1 e Q1) para os pontos da fronteira leste da grade. Com esses dados foi realizada a previsão de maré, incluída como condição de contorno de elevação no POM. Esses dados foram interpolados linearmente para que cada ponto de grade da fronteira leste possua um valor de elevação correspondente. A Figura 21 mostra duas séries temporais de elevação utilizadas como condição de contorno; no primeiro (linha vermelha) e no último ponto de grade da fronteira leste (linha azul).

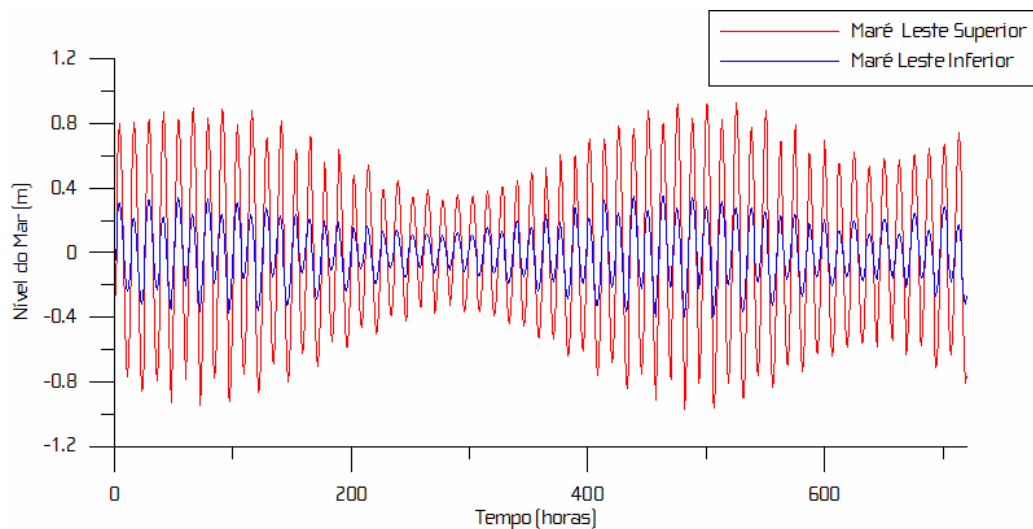


Figura 21: Condição de contorno de topo (elevação do nível do mar) do modelo hidrodinâmico.

Nas fronteiras norte e sul, a condição de contorno utilizada para a elevação é a de gradiente zero, representadas pela equação a seguir:

$$\frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \quad \text{IV.20}$$

Ou seja se a onda ali e propagando estiver saindo do domínio, esta condição tenta simular a saída da onda na fronteira sem reflexão e se estiver entrando, tenta fazer com que os efeitos da entrada sejam sentidos pelo interior do domínio.

IV.3.2. Correntes

As condições de contorno para as velocidades nas fronteiras norte e leste são as radiativas de Orlandi:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + C * \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0 \quad \text{IV.21}$$

Onde:

ϕ representa a componente meridional ou zonal da velocidade;

C é a velocidade de propagação das ondas que atingem a fronteira;

IV.3.3. Temperatura

A condição para temperatura e salinidade é a advecção upstream:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + v * \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0 \quad \text{IV.22}$$

V. RESULTADOS

V.1. Avaliação do Modelo

Para que possamos saber se o comportamento do sistema de previsão é suficientemente compatível com o "sistema real" é necessário realizar uma comparação entre os resultados obtidos nos dois mundos; o "real" e o simulado.

A nomenclatura contemporânea para tal estudo é "avaliação". Embora possa parecer um rótulo de pouca importância, os termos anteriormente utilizados para tal fim, sempre foram controversos. A primeira nomenclatura "validação" foi substituída por "comparação histórica", a qual foi complementada com o termo "garantia de qualidade". A dificuldade em se definir um termo reside no fato de que as palavras "validação" e "garantia" trazem em si uma expectativa de positivo e negativo em relação aos resultados. O modelo poderia ser somente válido ou não válido, garantido ou não garantido. Nesse sentido, o termo "avaliação" torna-se mais adequado, uma vez que é neutro e pode abarcar uma gama maior de definições em termos de qualificação do modelo ou sistema (Beck, 2002).

Em essência, são duas as principais perguntas que devem ser respondidas quando se avalia um modelo ou sistema:

1. O modelo foi construído com materiais aprovados, i.e. as hipóteses constituintes são consagradas e adequadas?
2. O seu comportamento se aproxima bem do observado com respeito ao "mundo real" ?

A primeira pergunta pode ser respondida com o grande número de artigos publicados em revista internacionais utilizando o POM para estudos de circulação oceânica em diversas escalas, nos mais variados corpos d'água.

Para responder a segunda pergunta foram realizadas comparações entre dados observados e os resultados obtidos pelo modelo, considerando diversos aspectos da dinâmica oceânica local.

V.1.1. Transporte de Volume

Para a avaliação de valores de transporte de volume são utilizados os mesmos dados analisados por Lima (1997). O método do cálculo do transporte de volume a partir dos dados de corrente foi o "método da caixa", adotado por Lima (1997). A Figura 22 apresenta um diagrama indicando a metodologia adotada.

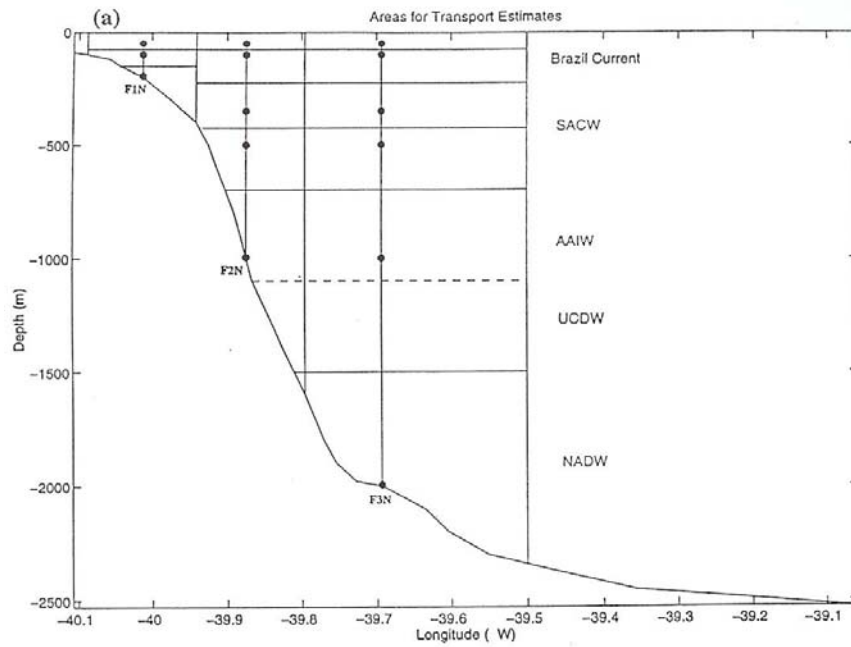


Figura 22: Representação esquemática da metodologia utilizada para o cálculo do transporte de volume (Lima, 1997).

Para obter-se os dados de transporte de volume modelados, os mesmos dados selecionados para as comparações das componentes meridionais de corrente foram utilizados. Os valores dessas componentes foram multiplicados pelas áreas escolhidas por Lima (1997), obtendo-se então o transporte de volume. As comparações podem ser observadas da Figura 23 à Figura 26.

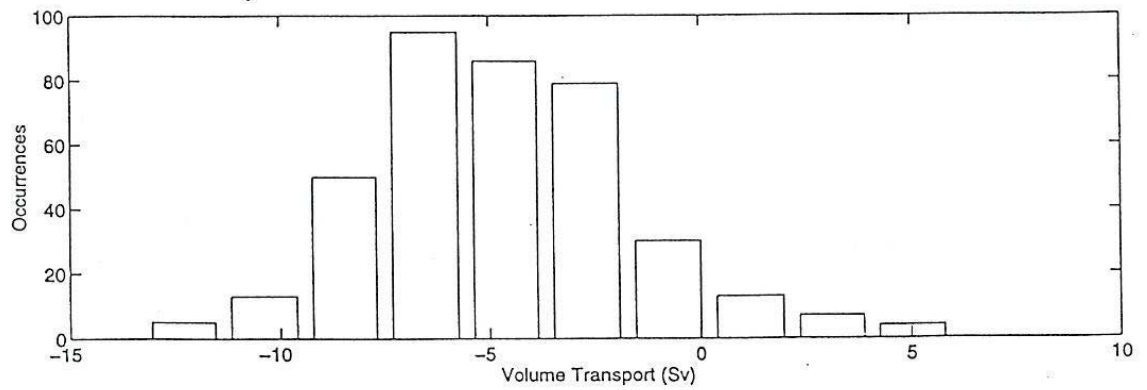


Figura 23: Histograma do transporte de volume da Corrente do Brasil entre maio de 1994 e maio de 1995, obtido por Lima (1997).

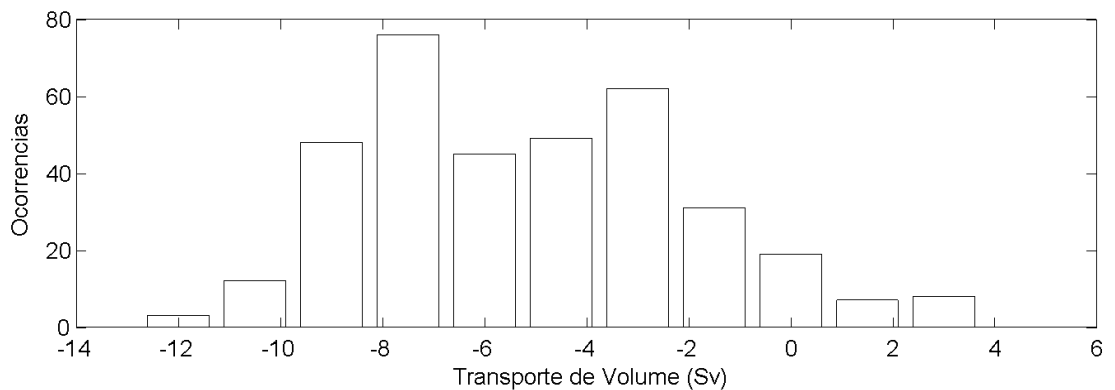


Figura 24: Histograma do transporte de volume da Corrente do Brasil para o ano de 1999 obtido pelo modelo numérico.

Lima (1997) encontrou transporte de volume médio para a Corrente do Brasil naquela região de -5.5 ± 2.6 Sv, contra $-5,1 \pm 3,2$ Sv calculados pela simulação, o que reflete boa concordância. Esse fato pode ser observado também nos histogramas, que apresentam comportamento bastante similar.

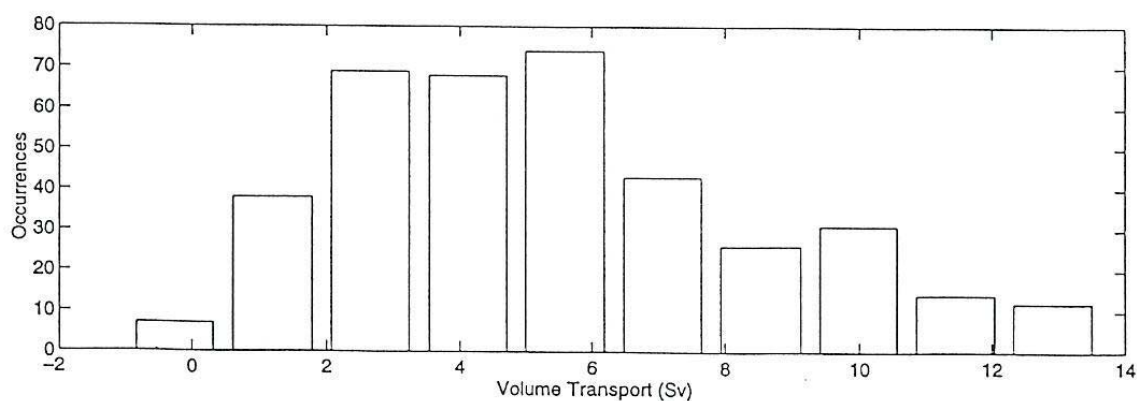


Figura 25: Histograma do transporte de volume da Contra Corrente Intermediária entre maio de 1994 e maio de 1995, obtido por Lima (1997).

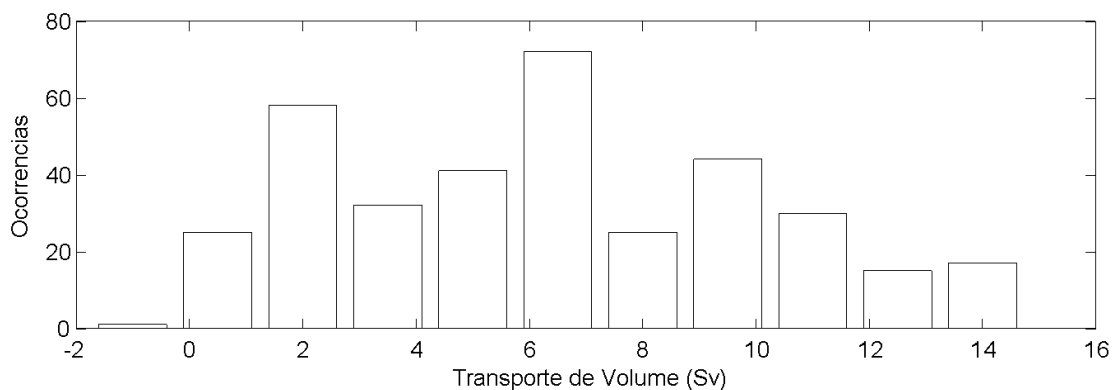


Figura 26: Histograma do transporte de volume da Contra Corrente Intermediária para o ano de 1999 obtido pelo modelo numérico.

O mesmo pode-se dizer em relação ao transporte da Contra Corrente Intermediária. Os valores simulados, $6,3 \pm 3,8$ Sv, são bem próximos aos calculados por Lima (1997), $6,6 \pm 3,5$ Sv, com histogramas apresentando comportamentos semelhantes.

V.1.2. Estrutura Termohalina

A fim de avaliar se as condições iniciais e as condições de contorno do modelo são capazes de representar de maneira adequada a estrutura termohalina da região, foram

realizadas comparações entre dados observados e modelados. Foram analisados dados de TSM obtidos por sensores AVHRR e perfis verticais de temperatura, salinidade e densidade medidos na região da Bacia de Campos (Lima, 1997).

Os dados de TSM estimados pelo sensor AVHRR são disponibilizados pelo projeto WOCE através da rede mundial de computadores no endereço <http://poet.jpl.nasa.gov>. A TSM é disponibilizada com resolução espacial de aproximadamente 5 minutos de arco (9,2 km) em forma de composições de oito dias.

Foram escolhidos dois períodos para as comparações; janeiro e junho. Essas datas foram selecionadas por serem as que apresentaram menor cobertura de nuvens e também para verificar se a variação sazonal do modelo estaria compatível com as observações.

Da Figura 27 até a Figura 32 são apresentados os dados de TSM estimados pelo satélite e obtidos pelo sistema de previsão, assim como o erro relativo.

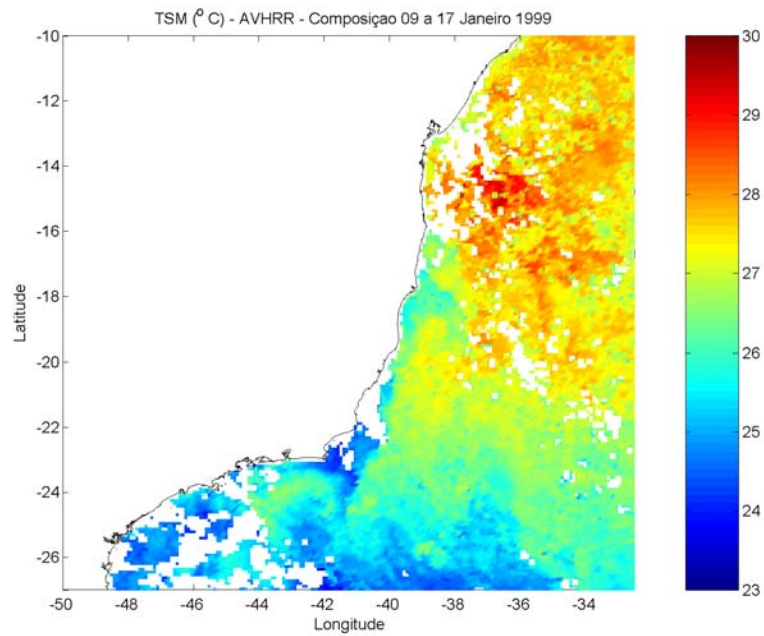


Figura 27: Temperatura da Superfície do Mar entre os dias 9 e 17 de janeiro de 1999 obtidos pelo sensor AVHRR. Dados disponibilizados pelo Projeto WOCE.

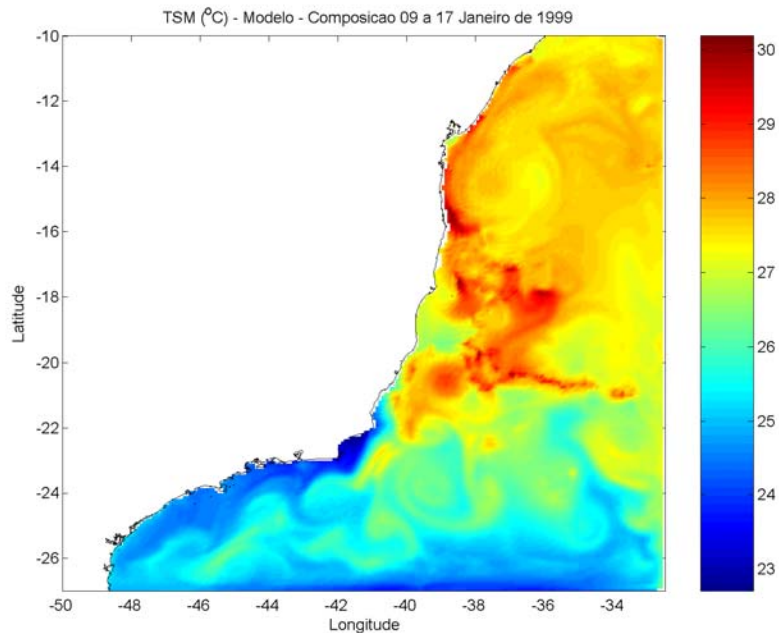


Figura 28: Temperatura da Superfície do Mar entre os dias 9 e 17 de janeiro de 1999 obtidos pelo modelo numérico.

Entre as latitudes de 10° a 22° S, pode-se observar, tanto nos dados obtidos por satélite, quanto nos simulados (Figura 27 e Figura 28), temperaturas em torno de 30° . A partir de 22° S, a TSM das águas transportadas pela Corrente do Brasil diminui, chegando a cerca de 26° C. As áreas adjacentes também apresentam menores valores em direção ao sul, passando de 28° C entre 10° e 20° S, a 26° C entre 20° e 24° S, até atingirem cerca de 24° C na região mais ao sul da grade.

Observa-se na região do Banco de Abrolhos, uma área de temperatura mais baixa (cerca de 26° C), em relação as águas adjacentes, talvez relacionado ao fato da Corrente do Brasil se deslocar em direção ao largo ao encontrar as menores profundidades do banco.

Na região costeira desde o Cabo de São Tomé até o final da grade, as temperaturas são as menores, chegando a 23° C em Cabo Frio.

O erro médio quadrático entre os dados observado e modelado para esse período é de $0,8^{\circ}$ C e as diferenças relativas de temperatura (Figura 29) são no máximo 5 %.

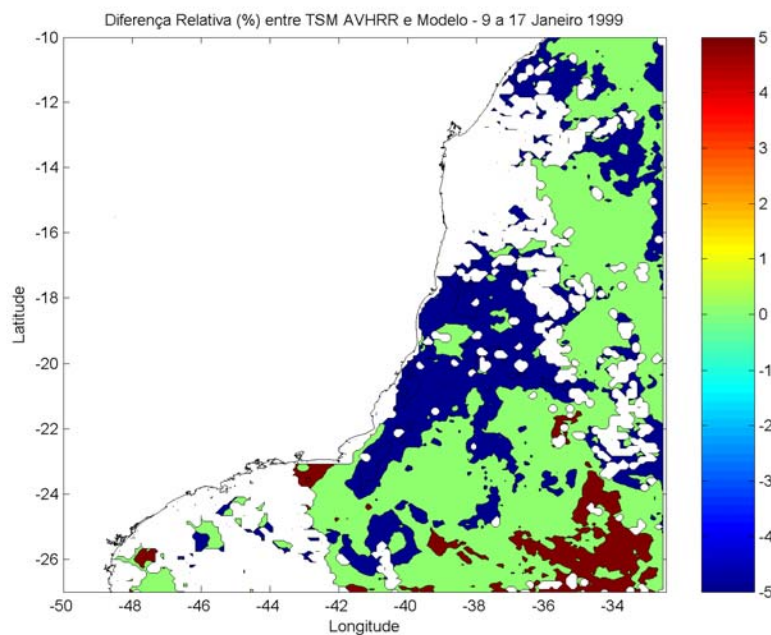


Figura 29: Diferença relativa (%) entre a TSM obtida pelo sensor AVHRR e pelo modelo numérico para o período de 9 e 17 de janeiro de 1999.

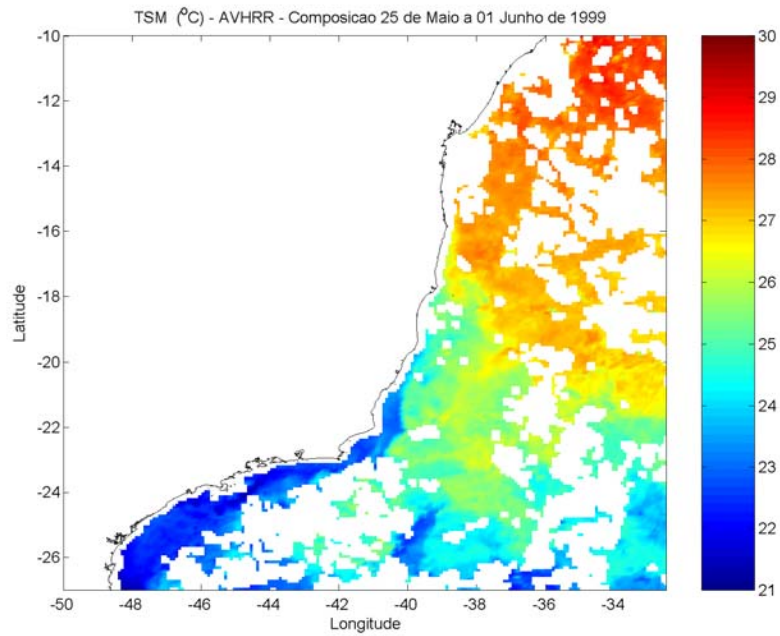


Figura 30: Temperatura da Superfície do Mar entre os dias 25 de maio e 1º de junho de 1999 obtidos pelo sensor AVHRR. Dados disponibilizados pelo Projeto WOCE.

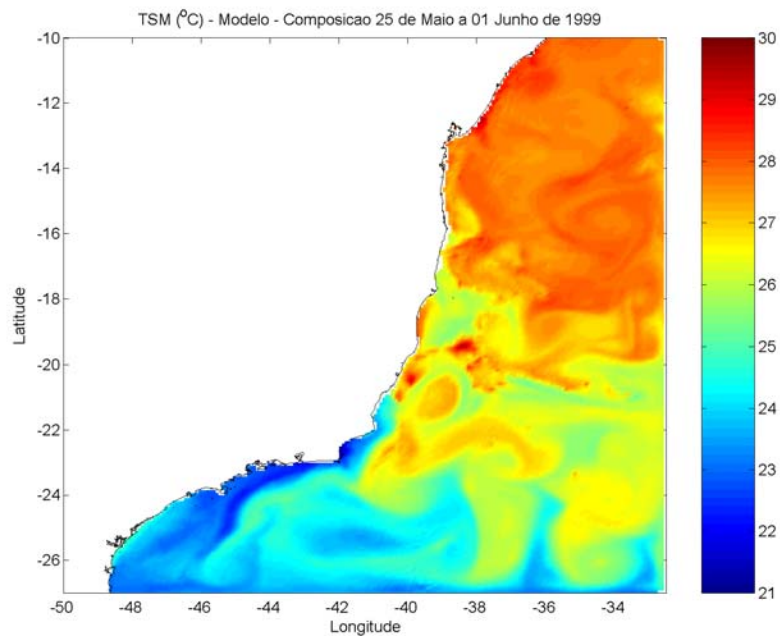


Figura 31: Temperatura da Superfície do Mar entre os dias 25 de maio e 1º de junho de 1999 obtidos pelo modelo numérico.

Para o período de maio/junho pode-se notar que as temperaturas mínimas chegam a 21° C, contra 23° C para o mês de janeiro. As temperaturas entre as latitudes de 10° a 22° S continuam em torno de 29° C. A latitude na qual a TSM começa a diminuir, agora é em torno de 20° C chegando a cerca de 25° C.

Na região costeira desde o Cabo de São Tomé até o a costa de Santa Catarina, as temperaturas estão entre 22 e 21° C.

O erro médio quadrático entre os dados observado e modelado para esse período é de $1,1^{\circ}$ C e as diferenças relativas de temperatura (Figura 29) alcançam, localizadamente, até 10%.

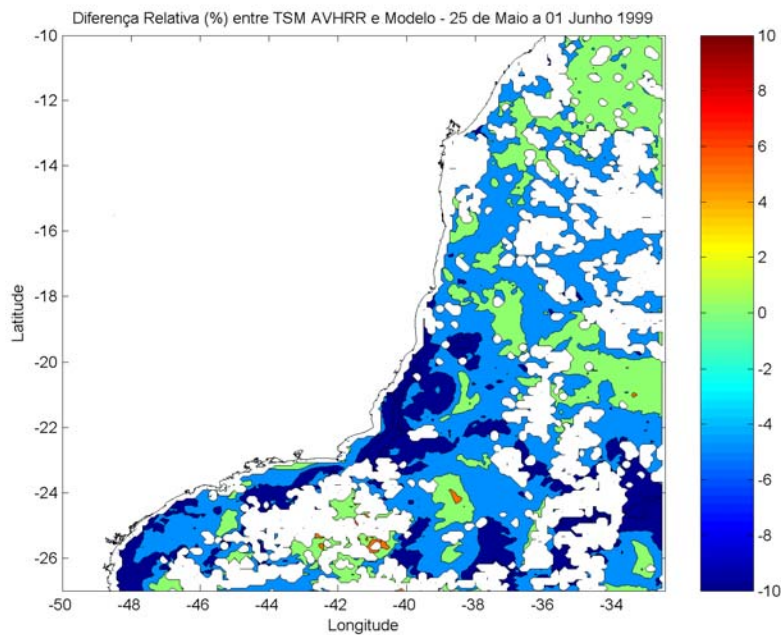


Figura 32: Diferença relativa (%) entre a TSM obtida pelo sensor AVHRR e pelo modelo numérico para o período de 25 de maio a 1^o de junho de 1999.

As comparações indicam que as condições iniciais e de contorno foram eficientes em reproduzir a variação sazonal da TSM. A posição da frente de temperatura também foi bem representada, evidenciando que a posição da Corrente do Brasil está compatível com o que se observa.

Para avaliar a estrutura termohalina ao longo da coluna d'água, foram comparados dados medidos pelo Projeto P2000, apresentados por Lima (1997). Os gráficos da Figura 33 até a Figura 38 mostram seções verticais na latitude de 22° S da temperatura potencial, salinidade e densidade potencial observados e modelados.

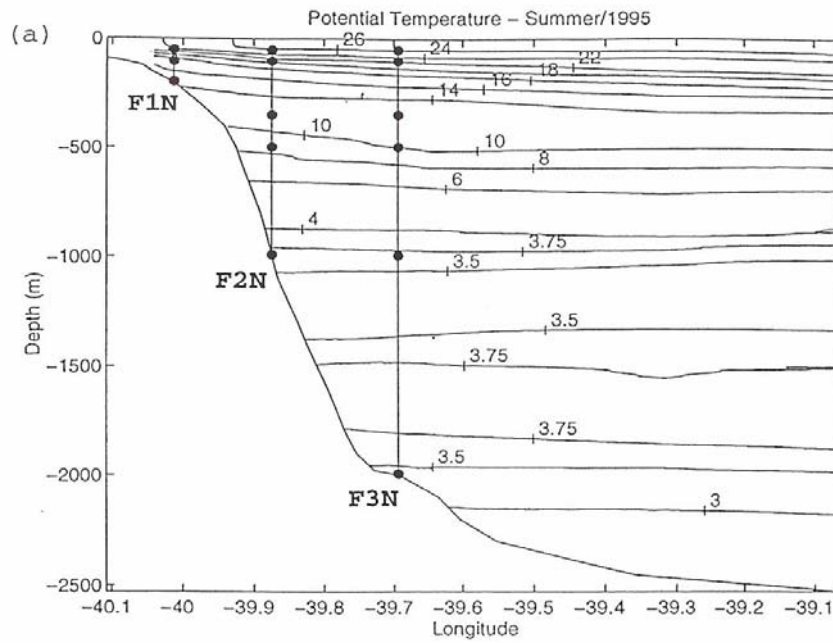


Figura 33: Seção vertical da temperatura potencial (oC) na latitude de 22° S obtida por medições in situ no verão de 1995. Fonte: Lima, 1997.

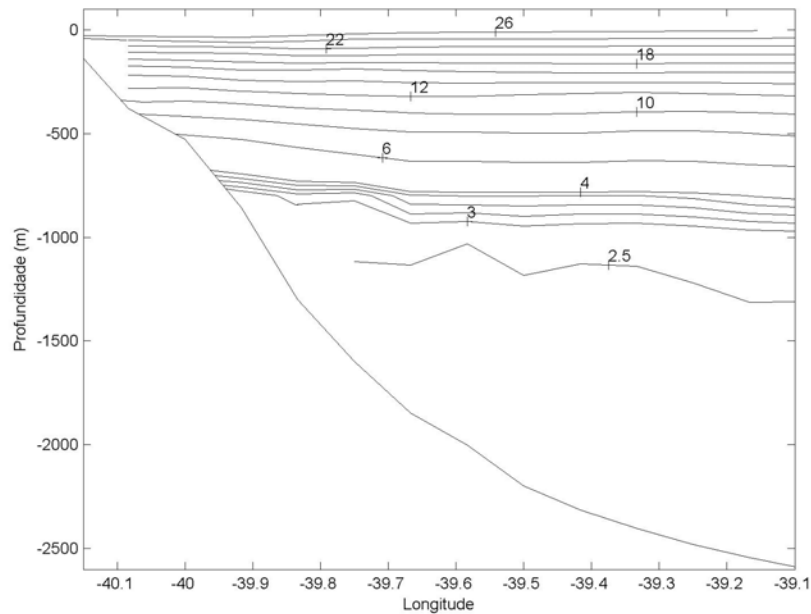


Figura 34: Seção vertical da temperatura potencial (oC) na latitude de 22° S obtida pelo modelo numérico no verão de 1999.

Os perfis verticais de temperatura potencial (Figura 33 e Figura 34) mostram configurações bastante similares. A posição das isotermas em relação a profundidade estão bastante próximas. Porém, nota-se que a partir da isoterma de 4° C, localizada entre as profundidades de 700 a 800m, o gradiente de temperatura é maior no modelo do que nos dados medidos, o que faz com que o modelo possua temperaturas mais baixas em águas mais profundas, chegando a 2,5° C.

Os perfis de salinidade (Figura 35 e Figura 36) mostram comportamentos semelhantes. A localização e os valores do mínimo de salinidade, associado à presença da Água Intermediária Antártica, são próximos, assim como a posição das isohalinas, e os valores de máxima salinidade em superfície.

Isso indica boa representação da estrutura vertical do modelo comparando-se com o que se observa na região da Bacia de Campos.

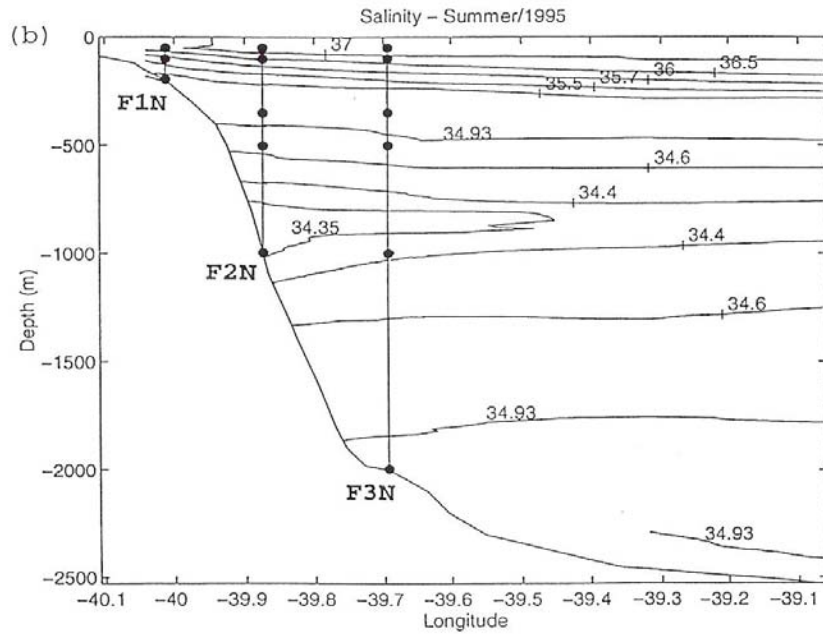


Figura 35: Seção vertical da salinidade na latitude de 22° S obtidos por medições in situ no verão de 1995. Fonte: Lima, 1997.

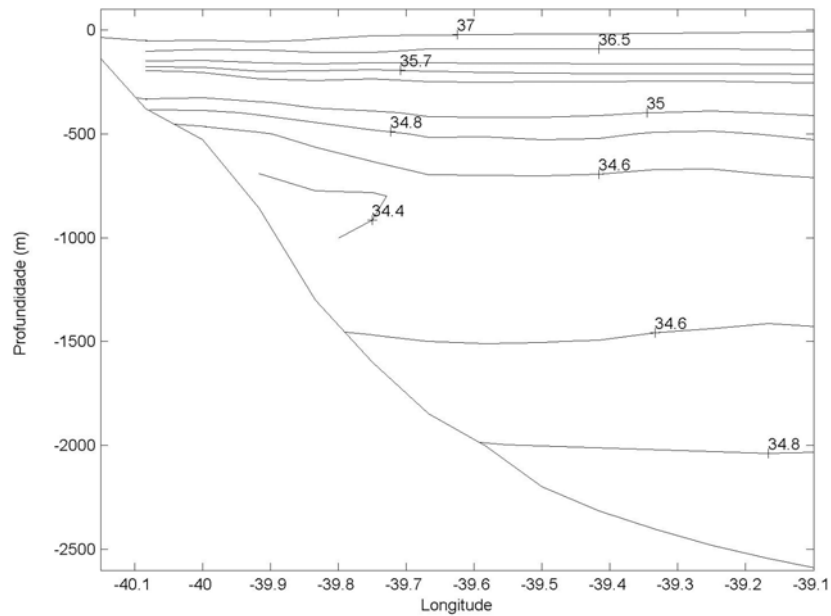


Figura 36: Seção vertical da salinidade na latitude de 22° S obtidos pelo modelo numérico no verão de 1999.

Como as estruturas verticais de temperatura e salinidade são semelhantes, esse fato reflete-se na distribuição da densidade potencial, que apresenta padrões compatíveis entre as observações e a simulação (Figura 37 e Figura 38).

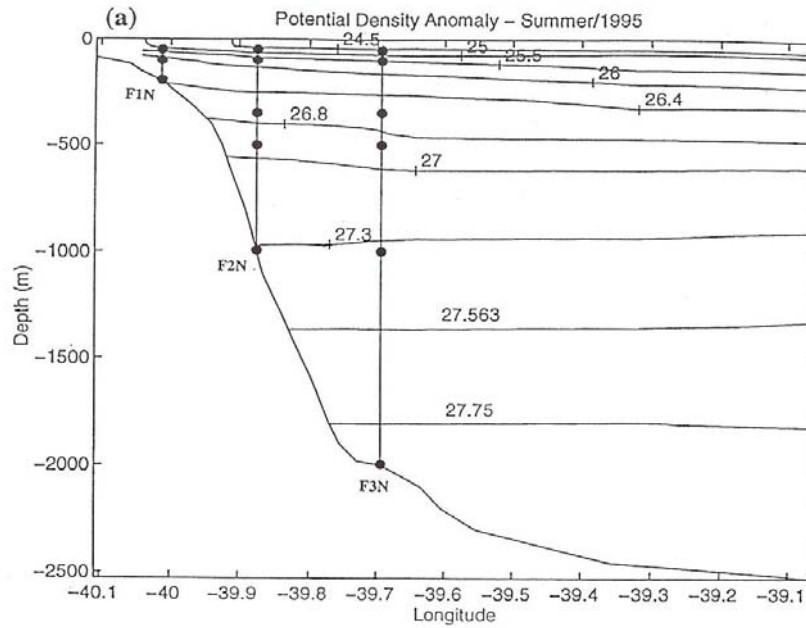


Figura 37: Seção vertical da densidade potencial na latitude de 22° S obtidos por medições in situ no verão de 1995. Fonte: Lima, 1997.

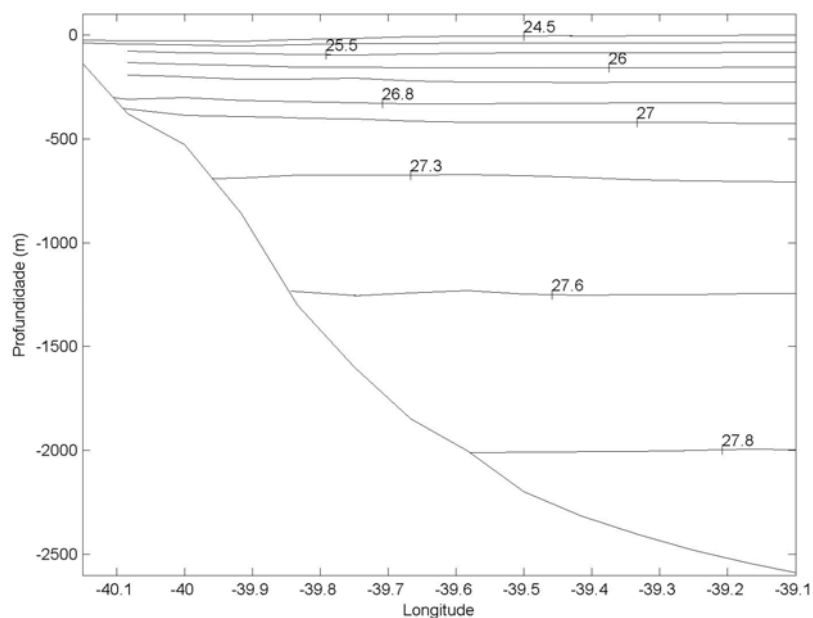


Figura 38: Seção vertical da densidade potencial na latitude de 22° S obtidos pelo modelo numérico no verão de 1999.

V.1.3. Campos de Corrente

Os resultados mostram que o sistema foi capaz de representar as principais feições de corrente presentes nas Bacias de Campos e Santos, ou seja, a Corrente do Brasil (Figura 39) e a contra corrente associada ao fluxo da Água Intermediária Antártica (Figura 40).

Outro resultado do modelo que não foi comparado com observações, mas que comporta-se como indica a literatura é a corrente que seria associada ao fluxo da Água Profunda do Atlântico Norte, em profundidades maiores que 2000m (Figura 41).

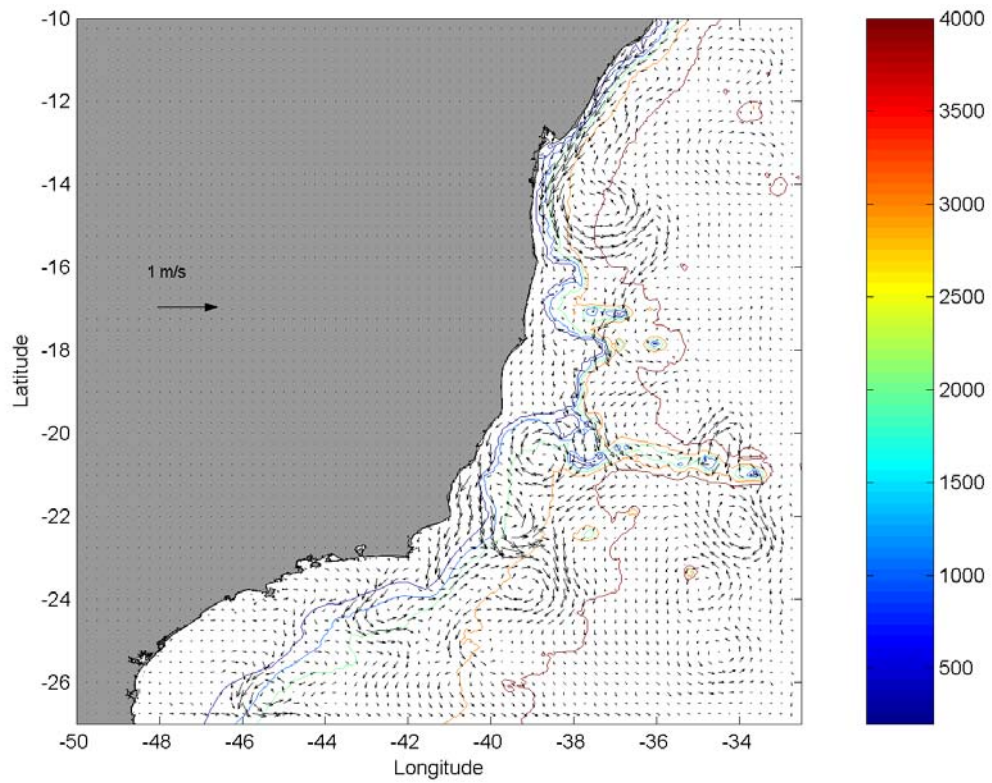


Figura 39: Correntes (m/s) em superfície obtidas pelo modelo numérico. A escala de cores refere-se à batimetria em metros.

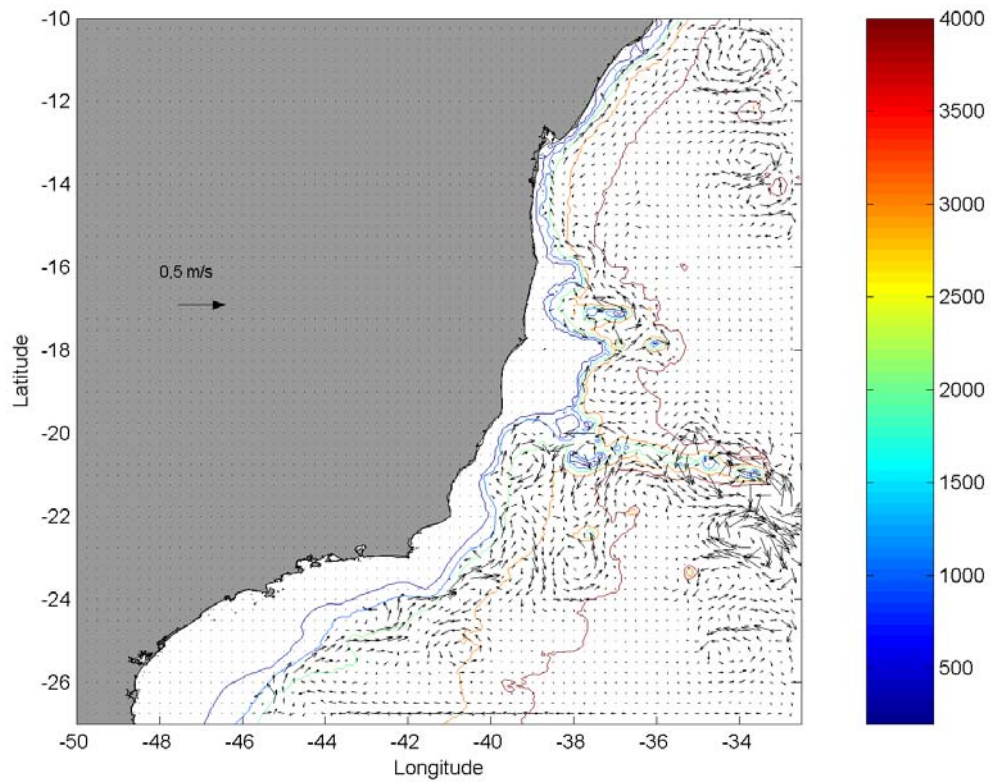


Figura 40: Correntes (m/s) a 1000 m obtidas pelo modelo numérico. A escala de cores de refere-se à batimetria em metros.

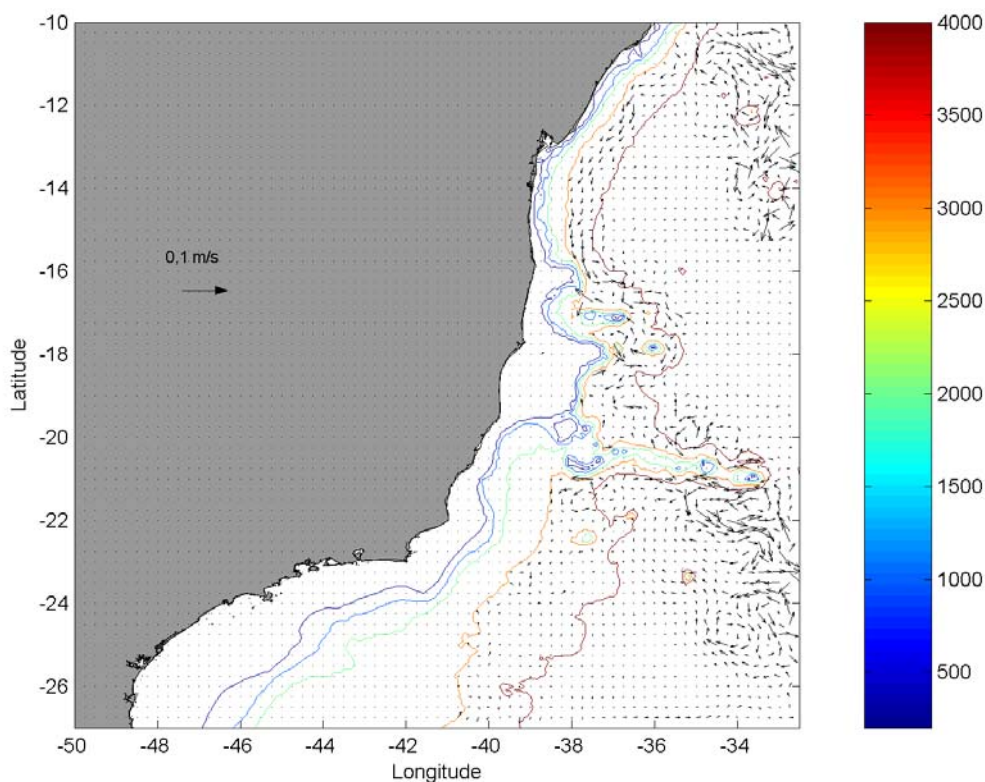


Figura 41: Correntes (m/s) a 3000m obtidas pelo modelo numérico. A escala de cores de refere-se à batimetria em metros.

VI. CONCLUSÕES

O modelo numérico hidrodinâmico de coordenadas sigma, POM (Princeton Ocean Model) foi implementado à região adjacente ao Bloco BM-C-41.

Após devidamente calibrado, o modelo foi executado para fornecer os campos de temperatura, salinidade e corrente. Os resultados das comparações entre os dados simulados pelo POM e os observados, tanto para a estrutura termohalina, quanto para a corrente em superfície e em profundidade foram considerados satisfatórios na representação da dinâmica oceânica da região, pois conseguiu reproduzir fenômenos em escala climática (Corrente do Brasil e fluxo da AIA, por exemplo) e de menor escala temporal (vórtices e meandros).

Sendo assim, estes dados foram considerados aptos a serem utilizados para as simulações de transporte de material no oceano realizadas para o Bloco BM-C-41.

VII. BIBLIOGRAFIA

Brandsma, M., & Smith, J., 1999. Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model Report and User Guide. *ExxonMobil Upstream Research Co.*

Beck, B., 2002 - "Model evaluation and performance." In: Encyclopedia of Environmetrics Volume 3, pp 1275–1279 - Edited by Abdel H. El-Shaarawi and Walter W. Piegorsch John Wiley & Sons, Ltd, Chichester

Blumberg, A. F. and G. L. Mellor, A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model, In Three-Dimensional Coastal Ocean Models, N. S. Heaps (Ed.), 1-16, American Geophysical Union, Washington, DC, 1987.

Boebel, O., C. Schmid, G. Podesta and W. Zenk, 1999: "Intermediate water in the Brazil-Malvinas Confluence Zone: A Lagrangian view". *Journal of Geophysical Research*, 104 (C9), pp. 21,063-21,082.

Calado, L. 2000, Dinâmica da Formação dos Meandros e Vórtices da Corrente do Brasil ao Largo do Sudeste Brasileiro, Dissertação de Mestrado – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.

Castro, B.M.; Miranda, L.B., 1998: "Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf located between 4°N and 34°S." In: Robinson, A.R.; Brink, K.H. (eds.): *The Sea*, Vol. 11: pp. 209-252, New York, John Wiley & Sons.

Castro Filho, Belmiro Mendes de; Miranda, Luiz Bruner de; Calado, Leandro; Nonnato, Luiz Vianna; Mattos, Rafael Augusto: *Condições oceanográficas de verão e inverno ao largo de Cabo Frio durante o projeto DEPROAS - Simpósio Brasileiro de Oceanografia, 1 : 2002 : São Paulo.*

DHN, 1969: "II Comissão Oceanográfica: NE "Almirante Saldanha" de 15/02 a 28/02/1957." Rel. DHN-DG 20(II), p.1-11.

Evans D.L. , S. S. Signorini & L.B. Miranda, 1983: A note on the transport of the Brazil Current. *Journal Of Physical Oceanography*, 9, 724-738.

Ezer,T. and G. L. Mellor, 1997. Simulations of the Atlantic Ocean with a free surface sigma coordinate ocean model. *J. Geophys. Res.*, 102(C7), 15,647-15,657.

Ezer, T., 2001. On the response of the Atlantic Ocean to climatic changes in high latitudes: Sensitivity studies with a sigma coordinate ocean model, In: *The Oceans and Rapid Climate Change: Past, Present and Future*, D. Seidov, B. J. Haupt and M. Maslin (Eds.). American Geophysical Union, 199-215.

Ezer, T. and G. L. Mellor: 1994 "Diagnostic and prognostic calculations of the North Atlantic circulation and sea level using a sigma coordinate ocean model" *J. Geophys. Res.*, 99(C7), pp. 14,159-14,171.

Ezer, T., and G. L. Mellor, 2004. A generalized coordinate ocean model and a comparison of the bottom boundary layer dynamics in terrain-following and in z-level grids. *Ocean Modelling*, 6(3-4), 379-403.

Ezer, T., H. Arango and A. F. Shchepetkin: 2002. "Developments in terrain-following ocean models: intercomparisons of numerical aspects", *Ocean Modelling*, 4, pp. 249-267

Gan, J., L. A. Mysak and D. N. Strub, 1998. Simulation of the South Atlantic Ocean circulation and its seasonal variability. *J. Geophys. Res.*, 103(C5), 10,241-10,251

Garfield, N. III - The Brazil Current at Subtropical Latitudes. Ph.D Disertation. University of Rhode Island,1990, 122 pp.

Gordon, A.L. and C.L. Greengrove, 1986: "Geostrophic circulation of the Brazil-Falkland Confluence." *Deep Sea Research*, 33, pp. 573-585.

Le Blond, PH and Mysak, LA, 1978 : *Waves in the Ocean*. 1a Edição. Elsevier Scientific Publishing, Amesterdã.

Le Provost, C., M.L. Genco, F. Lyard, P. Vincent & P. Canceil, 1994. Spectroscopy of the world ocean tides from a finit element hydrodynamic model. *Journal of Geophysical Research*,99(C12): 24.777-24.797.

Lima J. A. M., 1997: Oceanic circulation on the Brazilian shelf break and continental slope at 22°S. Tese De Doutorado. University Of New South Wales. Australia.

Mascarenhas Jr, A S 1985 - "Revisão sobre o cálculo da tensão de cisalhamento do vento sobre o oceano." In: Relatório Interno do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, n.14, pp.1-10

Mellor, G. L., and T. Yamada, Development of a tubulence closure model for geophysical fluid problems, *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 20, 851-875, 1982.

Mascarenhas Jr., A. DS., Miranda, L. B., y Rock, N. J., 1971, "A study of the oceanographic conditions in the region of Cabo Frio." *Fertility in the Sea*, Gordon & Breach, vol. 1, pp. 285-308.

Mellor, G. L., 2004. "User's Guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model". *Atmos. And Oceanic Sci. Program*, Priceton University, Princeton, N. J., USA.

Munk, W., 2000 – "Achievements in Physical Oceanography" In: 50 Years of Ocean Discovery: National Science Foundation 1950-2000 Ocean Studies Board, National Research Council, 276 pp.

Peterson, R.G. and L. Stramma, 1990: "Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean." *Progress in Oceanography*, 26, pp. 1-73.

Peterson, R.G., L. Stramma, and G. Kortum, 1996: "Early concepts in charts and circulation." *Progress in Oceanography*, 37, pp. 1-115.

Schmid, C., H. Schäfer, G. Podestá & W. Zenk, 1995. "The Vitória Eddy and Its Relation to the Brazil Current." *Journal of Physical Oceanography*, 25: pp. 2532-2546.

Signorini, S.R., 1978: On the circulation and volume transport of the Brazil Current between Cape of Sao Tome and Guanabara Bay, *Deep-Sea Research*, 25, 481-490 p.

Silveira, I. C.A. da; A. K. Schmidt; E.J.D. Campos; S. S. de Godoi; Y. Ikeda, 2001. "A Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira." *Rev. Bras. Oceanogr.*, 48(2), pp. 171-183.

Speer, K.G., J. Holfort, T. Reynard and G. Siedler, 1996: "South Atlantic heat transport at 11°S." In: The South Atlantic: Present and Past Circulation [Wefer, G., W. H. Berger, G. Siedler and D. J. Webb (eds.)]. Springer, pp. 105-120.

Stevens, I. & Johnson J. 1997 – "Sensitivity to open boundary forcing in a fine resolution model of the Iberian shelf-slope region," *Annales Geophysicae* 15, pp. 113-123.

Stommel, H. 1965. The Gulf Stream-a physical and dynamical description. Univ. Calif. Press, Berkeley, and Cambridge Univ. Press, Lond., 248 p.

Stramma, L., Y. Ikeda, R.G. Peterson, 1990: "Geostrophic transport in the Brazil Current region north of 20°S." *Deep-Sea Research*, 37 (12), pp. 1875-1886.

Stramma L., 1991: Geostrophic Transport of the South Equatorial Current in the Atlantic. *Journal of Marine Research*, 49. 281 - 294p



RELATÓRIO TÉCNICO [REV. 00]

MODELAGEM DE DISPERSÃO DE ÓLEO
Bloco BM-C-39

Preparado para:
OGX | HABTEC

Preparado por:
Anna Paula Fagundes
Leandro Calil
Leonardo Marques da Cruz

14 de julho de 2008

PROOCEANO

AV. RIO BRANCO, 311 / 1224 CENTRO
CEP 20.0040-009 RIO DE JANEIRO RJ
TEL | FAX +55 21 2532-5666
WWW.PROOCEANO.COM.BR

RELATÓRIO TÉCNICO [REV.00]

MODELAGEM DE DISPERSÃO DE ÓLEO
Bloco BM-C-39

Preparado para:
OGX | HABTEC

Preparado por:
Anna Paula Fagundes
Leandro Calil
Leonardo Marques da Cruz

14 de julho de 2008

ÍNDICE:

I. INTRODUÇÃO	4
II. METODOLOGIA.....	4
II.1. Modo Determinístico.....	4
II.1.1. Intemperismo	4
II.1.2. Cálculo da Espessura	4
II.2. Modo Probabilístico	4
III. CARACTERÍSTICAS DA SIMULAÇÃO.....	4
IV. FORÇANTES.....	4
IV.1. Variabilidade Ambiental.....	4
V. RESULTADOS	4
V.1. Modo Probabilístico	4
V.1.1. Vazamento de 8m ³	4
V.1.2. Vazamento de 200m ³	4
V.1.3. Blow-out	4
V.2. Modo Determinístico.....	4
V.3. Balanços de Massa (ou Processos do Intemperismo)	4
VI. CONCLUSÃO	4
VII. BIBLIOGRAFIA.....	4

I. INTRODUÇÃO

O presente relatório descreve os resultados obtidos na modelagem numérica do transporte de óleo no mar para um cenário acidental de vazamento no Bloco BM-C-39, Bacia de Campos, costa sudeste do litoral brasileiro. O local do vazamento é o poço Maui de coordenadas 23° 01' 15,02" S e 41° 06' 48,55" W.

Para contextualizar a questão, a metodologia aplicada para a realização das simulações, os modelos numéricos e os dados físicos usados serão também descritos.

II. METODOLOGIA

As simulações numéricas apresentadas nesse estudo foram feitas com o STROLL, modelo desenvolvido pela PROOCEANO para estudos de transporte de contaminantes no mar. O STROLL é um modelo lagrangeano capaz de simular o transporte advectivo-turbulento em até 3 dimensões além dos processos de intemperismo e a perda de massa de diversos tipos de contaminantes.

O STROLL possui dois modos de operação: determinístico e probabilístico.

A modelagem determinística consiste em estudar o comportamento do contaminante em um determinado cenário ambiental, apresentando instantâneos deste comportamento em tempos definidos pelo usuário.

Cabe à simulação probabilística, averiguar o comportamento do contaminante sob a influência de uma extensa combinação de cenários ambientais e determinar a probabilidade de presença e o tempo mínimo de chegada do mesmo em cada região do domínio do modelo.

Uma breve descrição destes modos, bem como dos processos de intemperismo será apresentada a seguir.

II.1. Modo Determinístico

A emissão de óleo no mar é representada pela inserção de um número de elementos n_e a cada intervalo de tempo Δt na região fonte. Considerando uma vazão Q m³/s, o volume inicialmente associado a cada elemento será:

$$q_{e,t=0} = \frac{Q\Delta t}{n_e} \quad (II-1)$$

O transporte advectivo de cada elemento é dado através do cálculo de sua posição p_e a cada passo de tempo. Com isso, a posição do elemento e no instante t é dada por:

$$p_{e,t+1} = p_{e,t} + \Delta t \frac{dp_e}{dt} + \frac{\Delta t^2}{2} \frac{d^2 p_e}{dt^2} \quad (II-2)$$

Onde:

$$\frac{dp_{i,e}}{dt} = \vec{u}_i \quad \text{é a velocidade e} \quad (11-3)$$

$$\frac{d^2 p_{i,e}}{dt^2} = \frac{d\vec{u}_i}{dt} = \frac{\partial \vec{u}_i}{\partial t} + \vec{u}_i \frac{\partial \vec{u}_i}{\partial x_i} \quad \text{a aceleração} \quad (11-4)$$

Para $i = 1, 2$. A velocidade \vec{u}_i (u e v) é obtida através de interpolação bi-linear no espaço e linear no tempo, dos dados fornecidos pelo modelo hidrodinâmico e pelo campo de vento, cuja contribuição, nesse caso, é de 1,5% de sua intensidade.

A aceleração é obtida através da derivação no tempo dos valores de velocidade interpolados. Os valores de velocidade utilizados são fornecidos por um modelo hidrodinâmico externo.

A difusão turbulenta do material é simulada através de modelos de passos aleatórios (*random walk models*), cuja idéia central consiste em adicionar um desvio de velocidade aleatório \vec{u}'_i às velocidades advectivas (Csanady, 1972).

11.1.1. Intemperismo

O STROLL simula os principais processos de intemperismo que ocorrem no óleo quando este é derramado no mar: espalhamento, evaporação, emulsificação e dispersão, e as consequentes mudanças nas propriedades físicas, como a densidade e a viscosidade.

11.1.1.1. Viscosidade e Densidade do Contaminante

A variação temporal da densidade do óleo ($\rho_o(t)$) é calculada de forma indireta, em função do conteúdo de água (Wc) presente na mistura e da fração de óleo evaporada ($frac_{evap}$), que são calculadas a cada passo de tempo do modelo, segundo a formulação apresentada à seguir:

$$\rho_o(t) = Wc * \rho_{\acute{a}gua} + (1 - Wc) \rho_0 \left[1 - c_1 (T - T_{\acute{a}gua}) (1 - c_2 frac_{evap}) \right] \quad (11-5)$$

onde ρ_o é a densidade do óleo, ρ_0 é a densidade inicial do óleo, $\rho_{\acute{a}gua}$ a densidade da água, T e $T_{\acute{a}gua}$ a temperatura do óleo e da água, respectivamente, $frac_{evap}$ a fração de óleo evaporada, e c_1 e c_2 as constantes empíricas específicas para cada tipo de óleo.

A viscosidade do constituinte μ varia ao longo de sua trajetória, sendo parametrizada por Mackay *et al.* (1983) *apud* Lehr *et al.* (2002).

$$\mu = \mu_0 \cdot \exp \left[\left(C_{evap} \frac{frac_{evap}}{1 - C_{emul2}} + C_{temp} \left(\frac{T_{\acute{a}gua} - T}{T_{\acute{a}gua} T} \right) \right) \right] \quad (11-6)$$

onde μ_0 é a viscosidade inicial do constituinte, C_{evap} é a constante de evaporação e igual a 5000 K (NOAA, 2000), C_{temp} uma constante empírica adimensional que depende do tipo de óleo, podendo variar entre 1 e 10. Para as constantes adimensionais C_{emul1} e C_{emul2} , NOAA(2000) sugere valores de 2,5 e 0,65, respectivamente.

11.1.1.2. Espalhamento

Admitindo que a fase inicial do espalhamento (gravitacional-inercial) de uma mancha de óleo é muito curta, o STROLL parte da fase gravitacional-viscosa para calcular o espalhamento, assumindo que quando a espessura da mancha decresce até um determinado valor, o espalhamento termina. Assim o raio R_0 da área inicial é calculado por:

$$R_0 = \frac{K_2^2}{K_1} \left(\frac{V_0^5 g \Delta}{\mu_{\acute{a}gua}} \right)^{\frac{1}{12}} \quad (11-7)$$

onde K_1 e K_2 , recomendado por Flores *et al* (1999) *apud* Soto (2004), são iguais a 0,57 e 0,725, respectivamente, V_0 o volume inicial do óleo derramado, $\mu_{\acute{a}gua}$ a viscosidade da água e Δ a diferença relativa de densidade da água e do óleo:

$$\Delta = \frac{\rho_{\acute{a}gua} - \rho_{\acute{o}leo}}{\rho_{\acute{o}leo}} \quad (11-8)$$

11.1.1.3. Evaporação

O STROLL utiliza o modelo de evaporação proposto por Jones (1997), o qual se baseia na relação de Mackay & Matsugu (1973), porém considerando o óleo como sendo uma mistura de componentes. Essa abordagem é também conhecida com modelo de Pseudo-Componentes, onde a taxa de evaporação pode ser obtida por:

$$\frac{dV_j}{dt} = \frac{K_j A \bar{V}_j \chi_j P_j}{R T} \quad (11-9)$$

onde j varia de acordo com o número de pseudo-componentes, K_j é o coeficiente de transferência de massa do pseudo-componente; A é a área da mancha; \bar{V}_j é o volume molar do pseudo-componente; χ_j é a fração molar do componente; P_j é a pressão de vapor do pseudo-componente; R é a constante universal dos gases e T é a temperatura.

A fração molar de cada pseudo-componente muda com o tempo e é constituída pela razão entre o número de moles do pseudo-componente, que é obtido dividindo-se o seu volume por seu volume molar, e a soma do número de moles total da mistura.

O volume molar de cada pseudo-componente é obtido através de uma correlação de dados de pontos de ebulição e volumes molares de uma série de alcanos com números de carbonos variando entre 3 e 20 (C3 e C20), expressa por:

$$\bar{V}_j = 7 \times 10^{-5} - (2,102 \times 10^{-7} BP_j) + [1 \times 10^{-9} (BP_j)^2] \quad (II-10)$$

onde BP_j é o ponto de ebulição de cada componente.

A pressão de vapor de cada pseudo-componente na temperatura ambiente é obtida através de seus pontos de ebulição, utilizando-se a Equação de Antoine, segundo Lyman *et al.* (1990) *apud* Jones (1997):

$$\ln \frac{P_j}{P^0} = \frac{\Delta S_j \cdot (BP_j - C)^2}{R \cdot BP_j} \cdot \left[\frac{1}{BP_j - C} - \frac{1}{T - C} \right] \quad (II-11)$$

onde P^0 é a pressão atmosférica; $\Delta S_j = 8,75 + 1,987 \log(BP_j)$, é a variação na entropia do componente oriunda da vaporização e $C = (0,19 \cdot BP_j) - 18$ é uma constante determinada a partir do ponto de ebulição do pseudo-componente.

O coeficiente de transferência de massa é calculado segundo Mackay & Matsugu (1973):

$$K_i = 0,0048 \cdot U^{7/9} \cdot Z^{-1/9} \cdot Sc_j^{-2/3} \quad (II-12)$$

onde U é a velocidade do vento; Z é o comprimento da mancha na direção do vento; e Sc é o número de Schmidt do pseudo-componente.

O número de Schmidt expressa a razão entre a viscosidade cinemática do ar com a difusividade molecular do pseudo-componente.

Para obter-se a difusividade molecular do pseudo-componente usa-se a seguinte aproximação, segundo (Thibodeaux, 1979 *apud* Jones, 1997):

$$D_j = D_{\text{água}} \sqrt{\frac{MW_{\text{água}}}{MW_j}} \quad (II-13)$$

onde $D_{\text{água}}$ é a difusividade molecular da água; e $MW_{\text{água}}$ é o peso molecular da água.

O peso molecular de cada pseudo-componente é calculado através de uma correlação também obtida de uma série de alcanos C3 a C20:

$$MW_j = 0,04132 - \left(1,985 \cdot 10^{-4} \cdot BP_j \right) + \left[9,494 \cdot 10^{-7} \cdot (BP_j)^2 \right] \quad (\text{II-14})$$

Reescrevendo a equação em termos de volume e volume molar, as taxas de evaporação de cada pseudo-componente pode ser obtida por:

$$\frac{dV_j}{dt} = - \frac{A \cdot K_j \cdot P_j \cdot V_j}{R \cdot T \cdot \sum_{k=1}^{nc} \frac{V_j}{V_k}} \quad (\text{II-15})$$

II.1.1.4. Emulsificação

A incorporação de água no óleo é descrita no modelo por uma equação proposta por Mackay *et al* (1980):

$$\frac{dfrac_{wv}}{dt} = K_w (1 + W)^2 \left(1 - \frac{frac_{wv}}{frac_{wv}^{final}} \right) \quad (\text{II-16})$$

em que $frac_{wv}$ é a fração volumétrica de água incorporada na emulsão, $frac_{wv}^{final}$ é a fração final de água incorporada e K_w uma constante empírica e igual a $1,6 \times 10^{-6}$.

II.1.1.5. Dispersão

A formulação utilizada para o cálculo do entranhamento no STROLL é baseada no modelo desenvolvido por Delvigne & Sweeney (1988) a partir de estudos sobre o entranhamento ou dispersão superficial e subsuperficial de óleo, realizados em laboratório.

Nesse modelo, a taxa de entranhamento por unidade de área é expressa por:

$$Q(d_0) = C_0 \cdot D_{ba}^{0,57} \cdot S_{cov} \cdot F_{wc} \cdot d_0^{0,7} \cdot \Delta d \quad (\text{II-17})$$

onde $Q(d_0)$ é a taxa de entranhamento por unidade de área no intervalo Δd de diâmetros de gotículas de óleo em torno de d_0 $\left(d_0 - \frac{1}{2} \Delta d \text{ a } d_0 + \frac{1}{2} \Delta d \right)$; d_0 é o diâmetro da gotícula de óleo; C_0 é uma constante de dispersão, relacionada a viscosidade do óleo; D_{ba}

é a energia de dissipação por ondas; S_{COV} é o fator de cobertura da superfície do mar por óleo ($0 \leq S_{COV} \leq 1$), sendo $S_{COV} = 1$ para manchas contínuas; F_{wc} é a fração da superfície do mar suscetível a quebra de ondas (encapelamento) por unidade de tempo.

A energia de dissipação por ondas por unidade de área é calculada por:

$$D_{ba} = 0,0034 \cdot \rho_w \cdot g \left[\frac{HS}{\sqrt{2}} \right]^2 \quad (II-18)$$

onde HS é a altura significativa de ondas, podendo ser calculada por: $HS = \frac{0,243 \cdot U^2}{g}$,

sendo U a velocidade do vento; ρ_w é a densidade da água; e g a aceleração da gravidade.

Para estimar a fração da superfície do mar suscetível ao encapelamento, o modelo utiliza a formulação proposta por Monahan (1971), Ding & Farmer (1994) *apud* Lehr & Simecek-Beatty (2000) e Lehr & Simecek-Beatty (2000), sendo:

$$\begin{aligned} F_{wc} &= \frac{0,025 \cdot (U - 3)}{T_M} \rightarrow 0 \leq U \leq 4; \\ F_{wc} &= \frac{0,01 \cdot U + 0,01}{T_M} \rightarrow U > 4, \end{aligned} \quad (II-19)$$

onde T_M é a constante de tempo de Monahan (1971), sendo $T_M = 3,85$ para água do mar.

Segundo Lehr & Simecek-Beatty (2000), variações nos diâmetros das gotículas de óleo acarretam em diferentes flutuabilidades para as mesmas, causando estratificação na concentração de óleo na coluna de água. Ainda segundo esses autores, a partir 50 a 100 μ de diâmetro, as partículas apresentam flutuabilidade neutra, sendo o movimento dominado pela dispersão horizontal e vertical sobre os efeitos de flutuabilidade.

O intervalo de diâmetro das gotículas de óleo utilizado no STROLL, assim como o modelo ADIOS2 (Lehr, 2002) varia entre $d_{\min} = 0\mu$ a $d_{\max} = 70\mu$.

A constante de dispersão C_0 , segundo Delvigne & Hulsen (1994) pode ser obtida através da seguinte relação:

$$\begin{aligned} C_0 &= 1827 \ v^{0,0658} \rightarrow v < 125 \ cSt; \\ C_0 &= 1827 \ v^{1,1951} \rightarrow v > 125 \ cSt; \end{aligned} \quad (II-20)$$

onde ν é a viscosidade do óleo.

Integrando a taxa de entranhamento por unidade de área no intervalo Δd de diâmetros de gotículas de óleo ($Q(d_0)$) no intervalo de gotículas d_{\min} a d_{\max} , obtêm-se:

$$Q = \frac{d_{\max}}{1,7} \cdot C_0 \cdot D_{ba}^{0,57} \cdot F_{wc} \cdot S_{cov} \quad (11-21)$$

sendo Q a taxa de entranhamento total, por unidade de área.

Para estimar a penetração máxima do óleo na coluna de água o modelo utiliza a equação proposta por Delvigne & Sweeney (1988):

$$Z_i = (1,5 \pm 0,35) \cdot H_b \quad (11-22)$$

onde H_b é a altura de quebra da onda.

11.1.2. Cálculo da Espessura

A espessura do óleo associada a cada elemento é dada por:

$$esp_e(x, y, t) = \frac{q_e}{2\pi[\sigma(t)]^2} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x - p_{x,e}(t)}{\sigma(t)}\right)^2 + \left(\frac{y - p_{y,e}(t)}{\sigma(t)}\right)^2\right]\right\} \quad (11-23)$$

onde q_e é o volume de cada elemento, x e y as coordenadas do ponto de grade, $p_{x,e}$ e $p_{y,e}$ a posição do centro de massa de cada elemento e $\sigma_i^2(t)$ é a variância da distribuição, relacionado à turbulência local através da equação:

$$D = \frac{1}{2} \frac{d\sigma^2(t)}{dt} \quad (11-24)$$

sendo D a difusividade turbulenta isotrópica horizontalmente, parametrizada à partir do escoamento, obtido do modelo hidrodinâmico, segundo a formulação de Smagorinsky:

$$D = C \Delta x \Delta y \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 \right]^{1/2} \quad (11-25)$$

onde Δx e Δy são os intervalos de discretização da grade e C é a constante de Smagorinsky, cujos valores para o oceano variam da ordem de 0,1 a 0,2 (Oey *et al.*, 1985a e b).

A espessura resultante de todo o descarte é então obtida através da soma da contribuição de cada elemento:

$$ESP(x, y, t) = \sum_{e=1}^{n_e} esp_e(x, y, t) \quad (11-26)$$

11.2. Modo Probabilístico

Na abordagem probabilística utilizada são realizadas diversas simulações determinísticas, considerando-se todos os processos citados nos itens anteriores, em diferentes cenários meteo-oceanográficos. Este módulo do STROLL tem por objetivo verificar a probabilidade de presença do constituinte na região estudada, bem como o tempo de chegada, a fim de determinar um cenário crítico para o descarte de contaminantes na região.

De acordo com os cenários meteo-oceanográficos locais, as séries temporais de vento e corrente são repartidas em 4 séries sazonais – correntes-verão, correntes-inverno, ventos-verão, ventos-inverno – conforme apresentado no esquema da Figura 1.

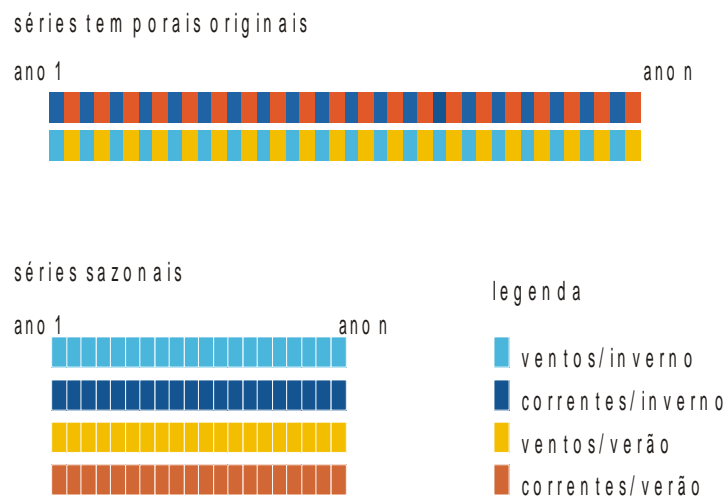


Figura 1: Representação esquemática da separação sazonal dos dados para a modelagem probabilística.

As séries de vento e corrente são então combinadas em diversos arranjos de forma a contemplar de forma ideal os possíveis cenários ambientais (Figura 2).

exemplo: probabilístico de verão

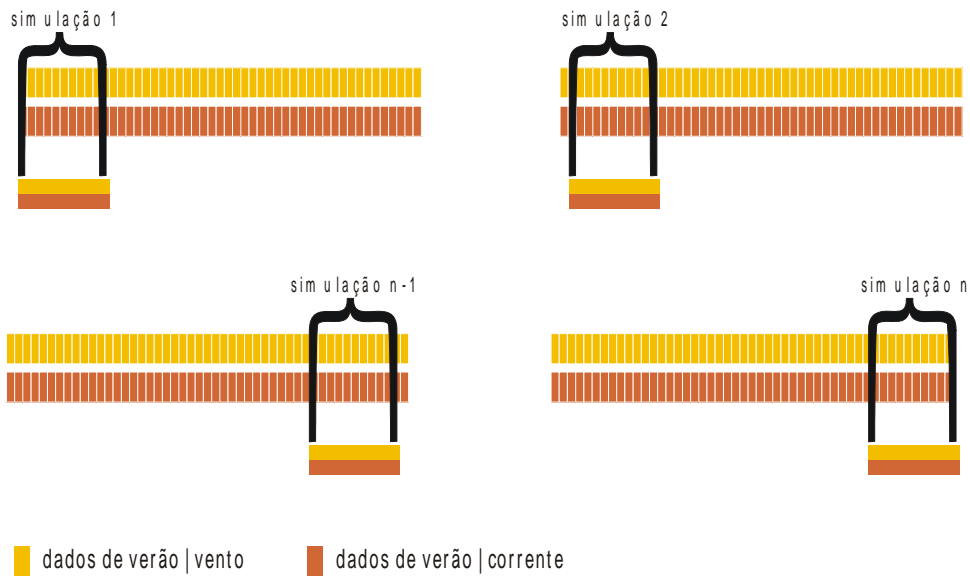


Figura 2: Representação esquemática da combinação dos dados de vento e corrente para a simulação probabilística.

Cada combinação de vento e corrente irá determinar um comportamento para o vazamento. O modelo identifica, em cada combinação, os pontos de grade onde a espessura da mancha do constituinte esteve acima do limiar determinado (Figura 3 , b e c):

$$I(x, y) = 1 \quad \text{se } ESP(x, y, t) \geq \text{lim}$$

$$I(x, y) = 0 \quad \text{se } ESP(x, y, t) < \text{lim}$$

A probabilidade de presença do poluente será dada pela normalização do número de vezes em que a mancha esteve acima do limiar em cada ponto de grade pelo número de combinações n_{com} realizadas (Figura 3 d):

$$P(x, y) = \sum_{i_{sim}=1}^{n_{com}} \left(\frac{I(x, y)}{n_{com}} \right) \quad (11-27)$$

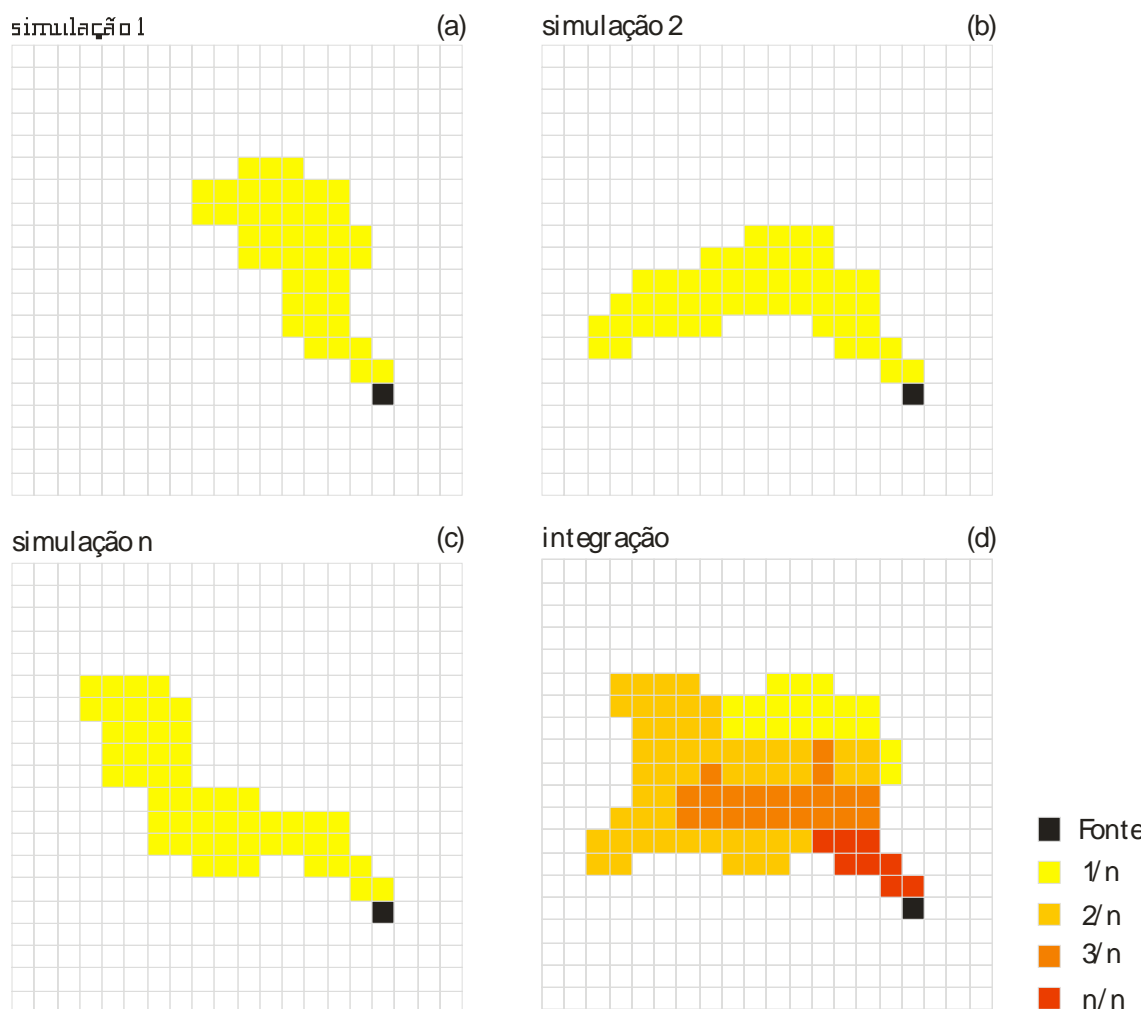


Figura 3: Representação esquemática do cálculo da probabilidade de presença de constituinte no STROLL.

Além da probabilidade de presença do constituinte, o módulo probabilístico do STROLL fornece também os tempos de chegada da mancha em cada ponto de grade do domínio, em cada simulação.

III. CARACTERÍSTICAS DA SIMULAÇÃO

As simulações foram realizadas considerando um evento de *blow-out* com vazamento contínuo por 30 dias (720 horas) em 2 (dois) cenários sazonais, verão e inverno. Após a disponibilização do óleo na água, o comportamento de sua deriva foi acompanhado por 30 dias. Portanto ao final das simulações foram totalizados 60 dias (1440 horas).

Além da simulação de *blow-out*, na qual é considerado o volume de pior caso (15.120 m³), foram ainda realizadas simulações para vazamentos de pequeno e médio volume, 8 m³ e 200 m³, respectivamente. Nesses casos as simulações duraram 30 dias.

Em todas as simulações considerou-se como critério de existência de óleo espessuras maiores ou iguais ao limiar de 3×10^{-7} metros (limiar de detecção) (ELPN/IBAMA, 2002).

A seguir, nas Tabelas 1 e 2, serão apresentadas as características do óleo e do vazamento.

Tabela 1: Características do óleo utilizadas na simulação.

Parâmetro	Valor	Unidade	Temperatura
API	20		
Densidade	0,9335	g/cm ³	15° C
Viscosidade	3,6	Cp	68° C

Tabela 2: Local do Vazamento.

Longitude	41° 06' 48,55" W
Latitude	23° 01' 15,02" S

A seguir serão apresentadas as forçantes utilizadas durante a simulação probabilística.

IV. FORÇANTES

Os dados de vento utilizados são provenientes das reanálises do NCEP – *National Centers for Environmental Prediction* – (Kalnay *et al.*, 1996). Essa base consiste em uma série de dados meteorológicos, com aproximadamente 1,8° de resolução espacial na região do estudo. Os dados disponíveis no NCEP cobrem todo o globo e estão disponíveis gratuitamente na internet (<http://www.ncep.noaa.gov>).

Para este estudo foram tratados 59 anos de dados (1948 a 2006) com uma frequência temporal de 6 horas (4 dados por dia).

A seguir, são apresentadas as rosas dos ventos, elaboradas para o período analisado, na região do Bloco BM-C-39 (Figura 4 e Figura 5).

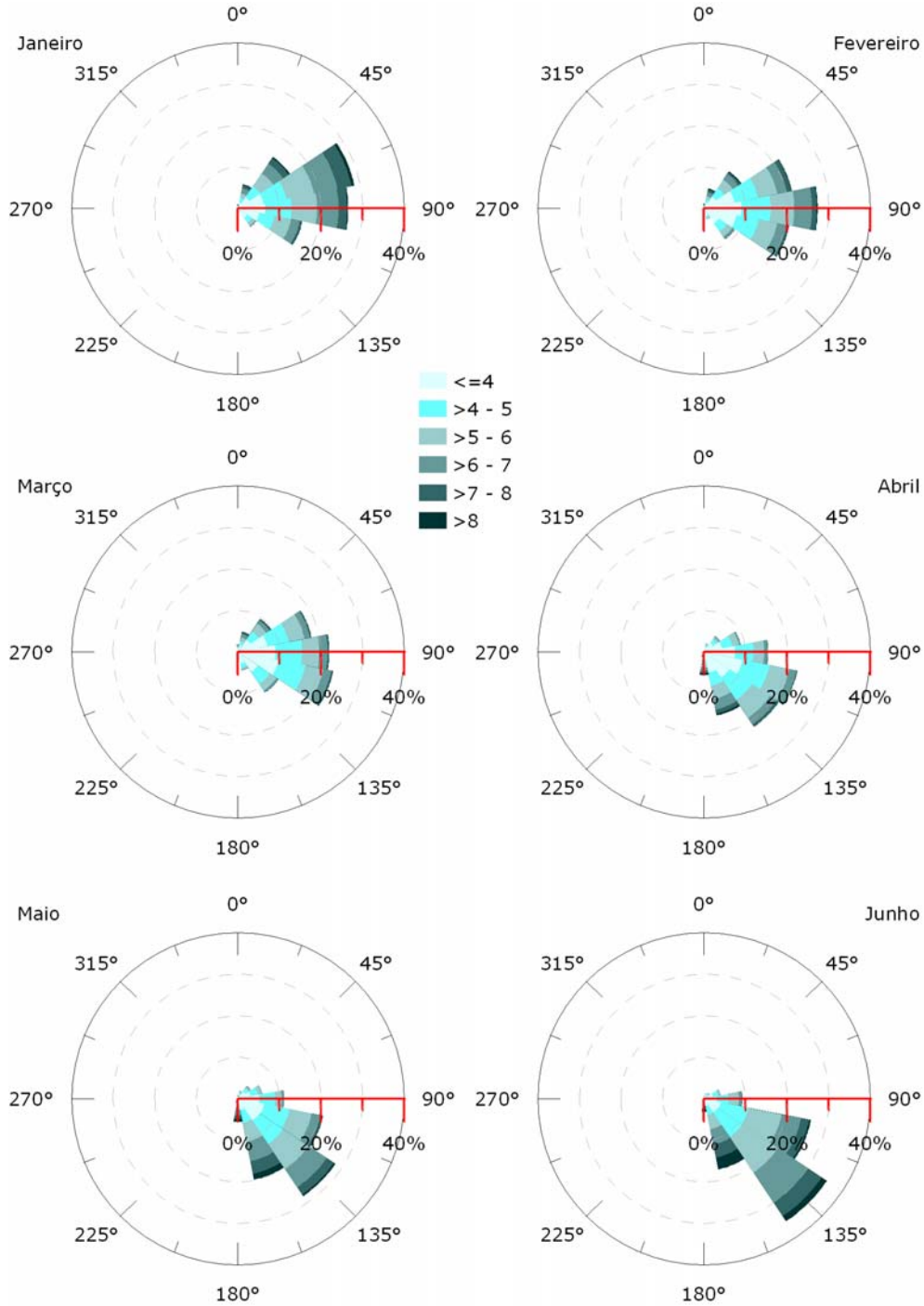


Figura 4: Rosa dos ventos para o período entre janeiro e junho na região do Bloco BM-C-39.

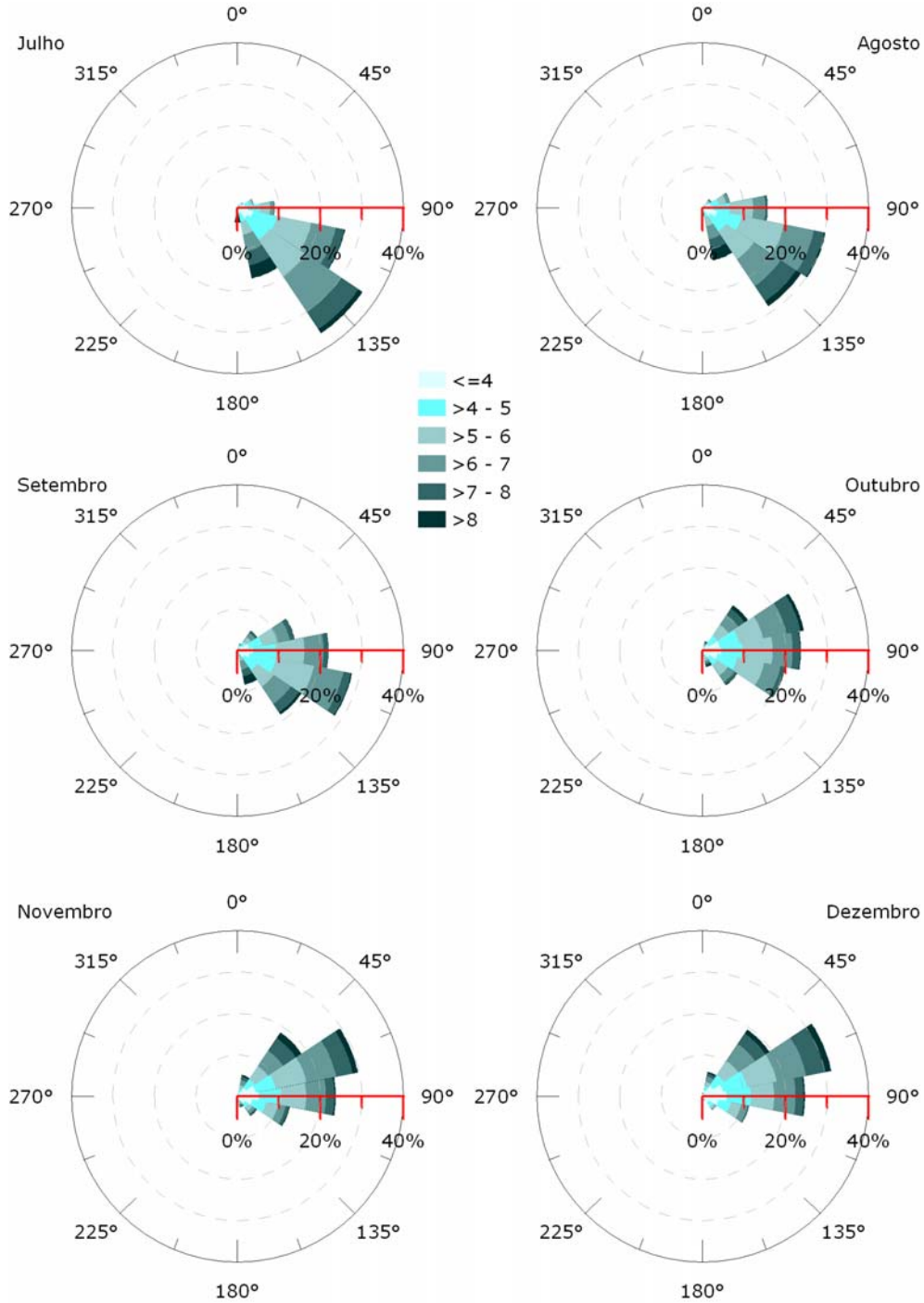


Figura 5: Rosa dos ventos para o período entre julho e dezembro na região do Bloco BM-C-39.

A análise mensal dos dados de vento possibilitou a caracterização de dois períodos bem marcados, com condições de inverno e verão, como pode ser observado na Figura 4 e na Figura 5.

O período que se estende de outubro a fevereiro é marcado por condições de verão. Neste período são observados ventos intensos e freqüentes do octante NE-E, com os meses de novembro e dezembro apresentando maiores persistências dos ventos de NE. Também são observados ventos no quadrante E-SE, porém esses são menos intensos e freqüentes.

O período caracterizado como sendo de inverno estende-se de março a setembro e apresenta ventos intensos e freqüentes com direções E-SE, destacando-se os meses de junho e julho como os ventos mais intensos.

Os dados de correntes utilizados foram obtidos da base de dados da PROOCEANO. Nesse estudo foi analisada uma série temporal de 1 ano de dados, sendo utilizado na modelagem um período de 6 meses, característicos para cada situação sazonal.

Uma descrição detalhada dos mesmos encontra-se no Relatório de Modelagem Hidrodinâmica, onde é descrita a dinâmica oceânica dessa região.

IV.1. Variabilidade Ambiental

Com o objetivo de avaliar a variabilidade das escalas temporais transientes presentes nos dados de ventos analisados e utilizados nesse trabalho, foi realizada uma análise de zeros ascendentes (*zero-up-crossing*). Essa análise consiste na identificação dos momentos ao longo de toda série onde as componentes do vento trocam de sinal (de negativo para positivo). Os resultados podem ser observados na Figura 6.

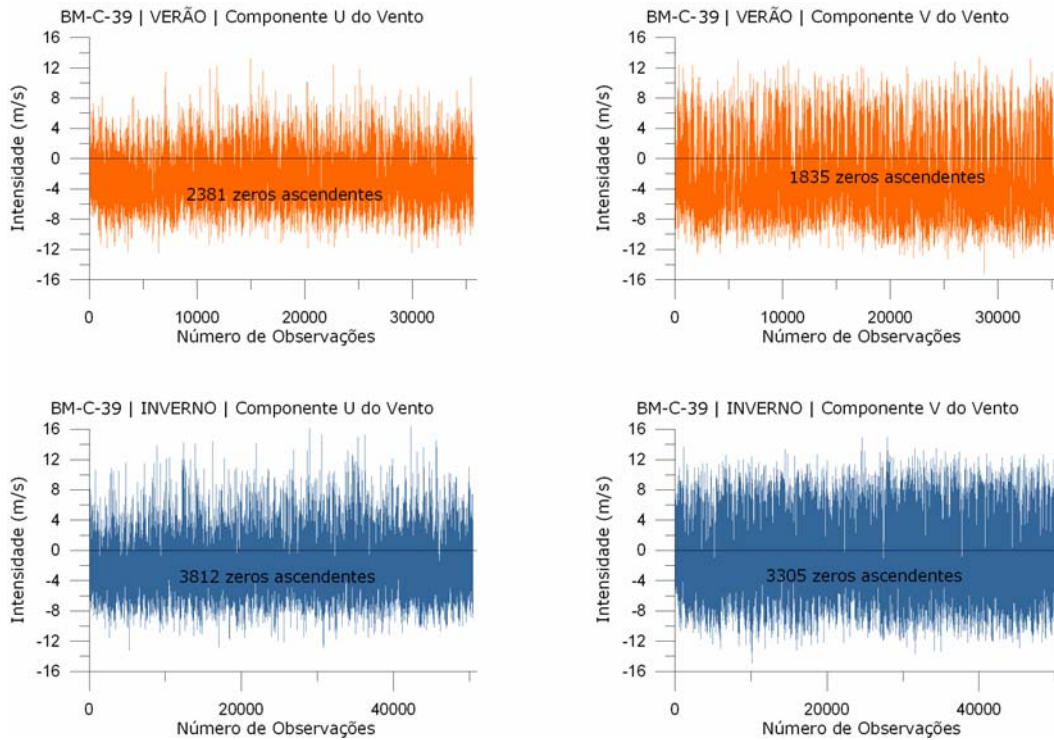


Figura 6: Séries temporais das componentes “u” e “v”, do vento, para a região do bloco BM-C-39, com o número de zeros ascendentes presentes nas séries. Fonte: Reanálise NCEP.

Podemos observar que no cenário de inverno o número de zeros ascendentes, nas duas componentes “u” e “v”, foram maiores que no cenário de verão.

Considerando que o intervalo entre as medições é de 6 horas, chegamos a uma escala mínima de variabilidade significativa de aproximadamente 5 dias para o cenário de verão e 4 dias para o cenário de inverno.

Assim, para uma correta representação dessa variabilidade na modelagem probabilística de óleo, seguindo a metodologia proposta por Elliott (2004), o número mínimo de simulações aconselhável, para o cenário de verão seria de 2.381 simulações e para o cenário de inverno 3.812 simulações.

Para garantir a compreensão da variabilidade presente, de forma conservadora foram realizadas 3.800 simulações para cada período (inverno e verão).

V. RESULTADOS

A seguir serão apresentados os mapas de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada para as simulações de vazamentos de 8, 200 e 15.120 m³, para os cenários de verão e inverno.

Para a obtenção destes resultados foram realizadas 3.800 diferentes simulações para cada cenário (verão e inverno) nos diferentes volumes de vazamento 8, 200 e 15.120 m³, totalizando 22.800 possíveis cenários ambientais de vazamento.

O cenário de pior caso, para ser simulado no modo determinístico, será definido através da análise dos resultados sazonais, sendo escolhida a situação onde o óleo atinja a costa no menor período de tempo possível após o início do vazamento.

O intemperismo do óleo será apresentado ao final do estudo, através de gráficos que apresentam o balanço de massa do constituinte, ao longo da simulação.

V.1. Modo Probabilístico

V.1.1. Vazamento de 8m³

V.1.1.1. Verão

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo para o vazamento de 8 m³ no cenário de verão é apresentado na Figura 7, enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 8.

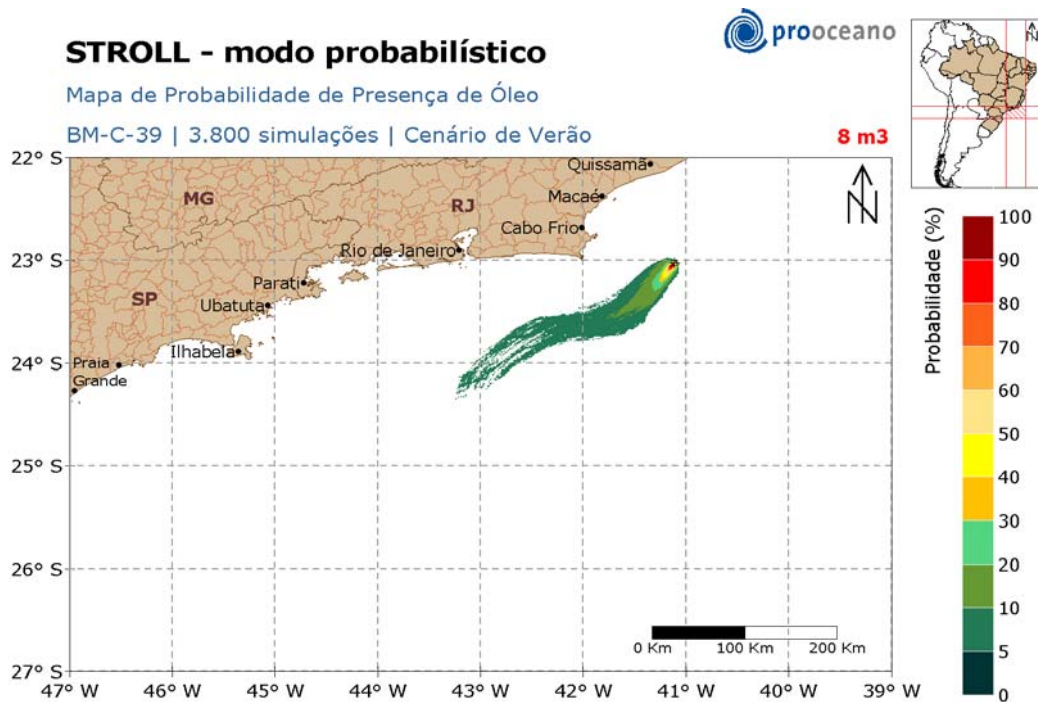


Figura 7: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 8 m³, no cenário de verão.

Neste cenário a deriva do óleo ocorre preferencialmente para sudoeste do poço.

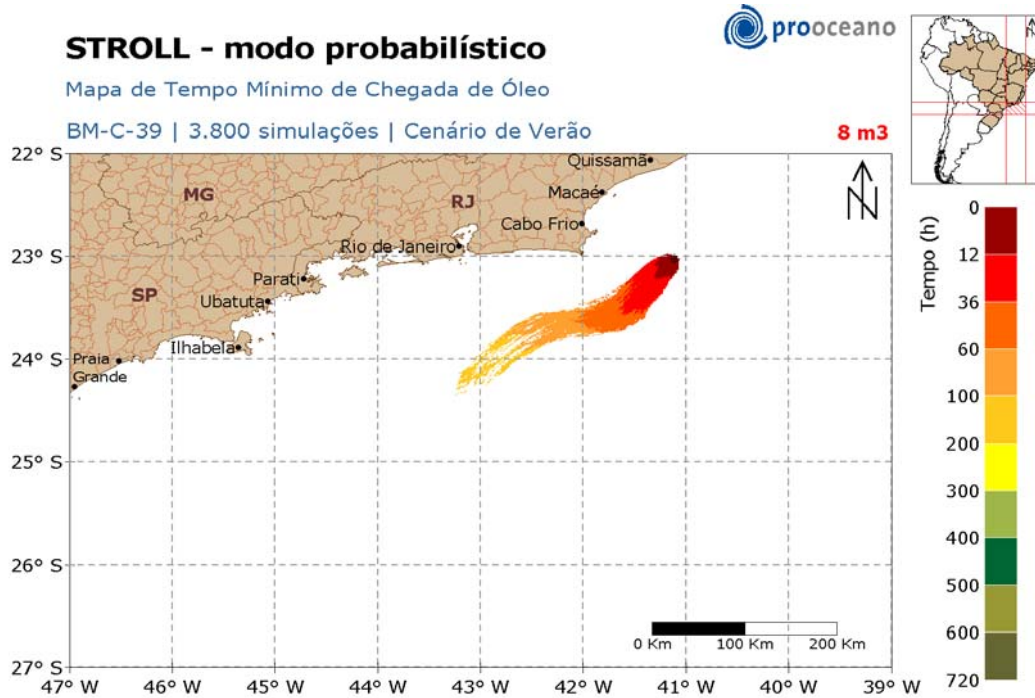


Figura 8: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo, para vazamento de 8 m³, no cenário de verão.

Observa-se que após 100-200 horas do início do vazamento todo o Mapa de Probabilidade é atingido.

V.1.1.2. Inverno

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo para o vazamento de 8 m³ no cenário de inverno encontra-se na Figura 9 enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 10.

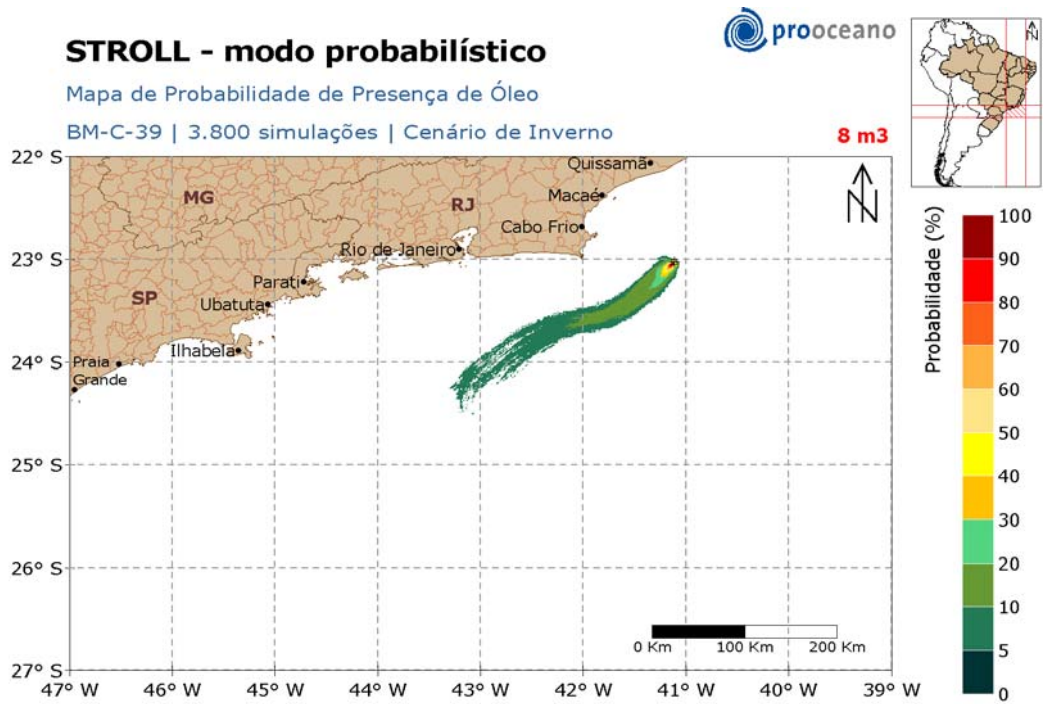


Figura 9: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 8 m³, no cenário de inverno.

No cenário de inverno, ocorre o mesmo que no cenário de verão, a deriva do óleo é preferencial para sudoeste do poço.

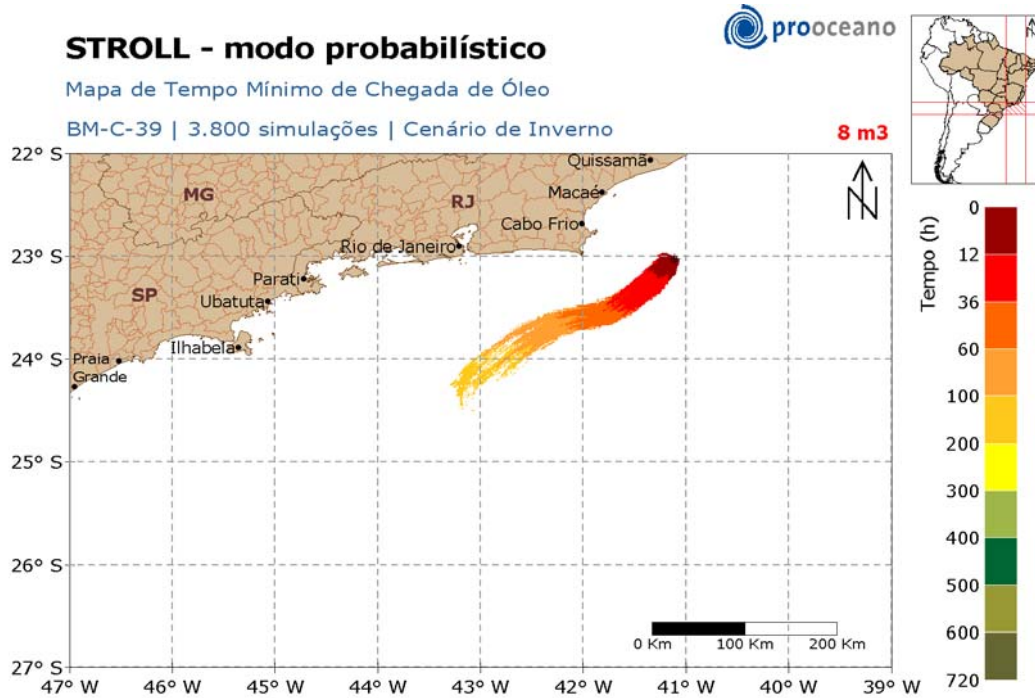


Figura 10: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo, para vazamento de 8 m³, no cenário de inverno.

Observa-se que o Mapa de Probabilidade é atingido em sua totalidade em 100-200 horas após o início do vazamento.

V.1.2. Vazamento de 200m³

V.1.2.1. Verão

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo para o vazamento de médio porte (200 m³), no cenário de verão, encontra-se na Figura 11 enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 12.

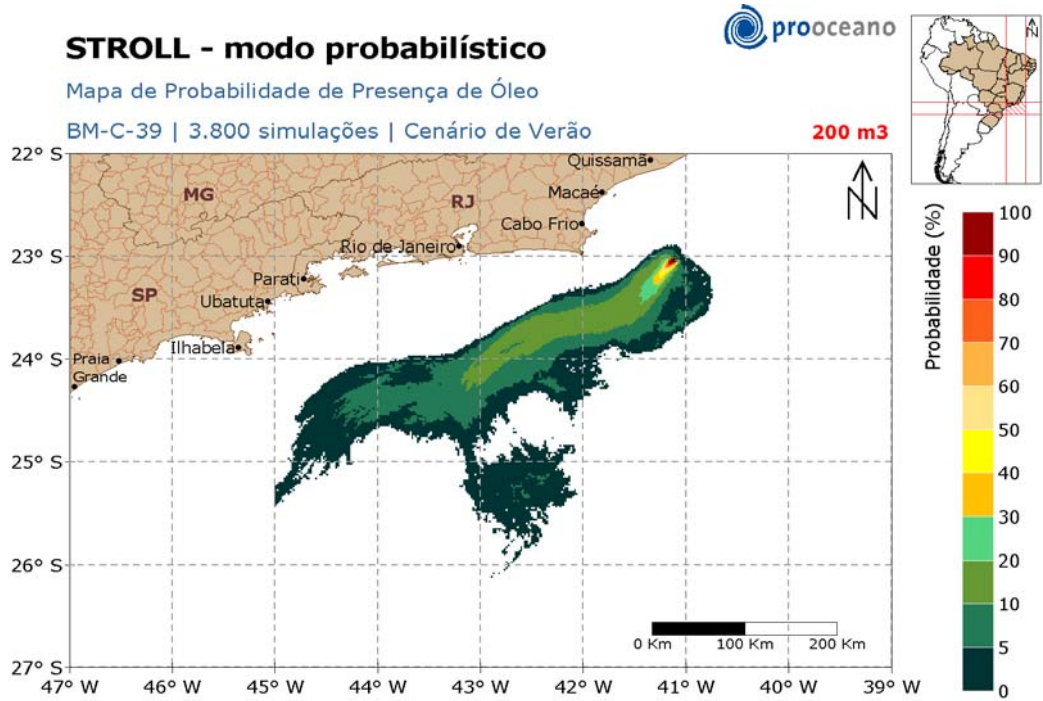


Figura 11: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 200 m³, no cenário de verão.

Podemos observar no Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo, que a deriva do óleo é preferencial para sudoeste do poço, atingindo a longitude de 45°W.

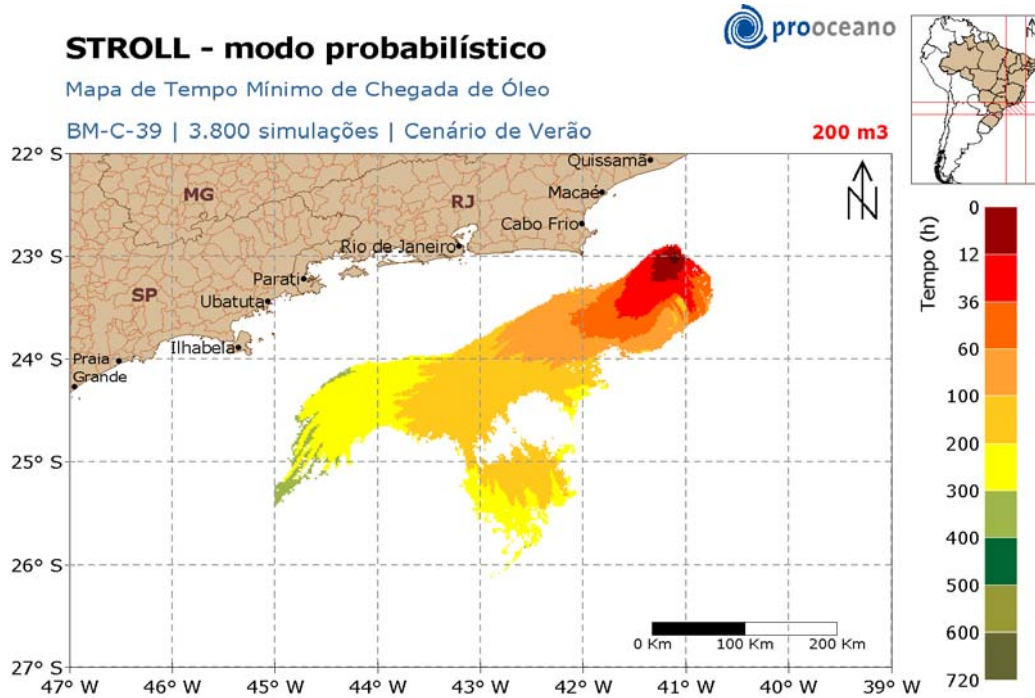


Figura 12: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo, para vazamento de 200 m³, no cenário de verão.

Observa-se na Figura 12 que o Mapa de Tempo Mínimo de Chegada do Óleo foi atingido em sua totalidade de 300-400 horas após o início da simulação.

V.1.2.2. Inverno

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo para o vazamento de 200 m³ no cenário de inverno encontra-se na Figura 13 enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 14.

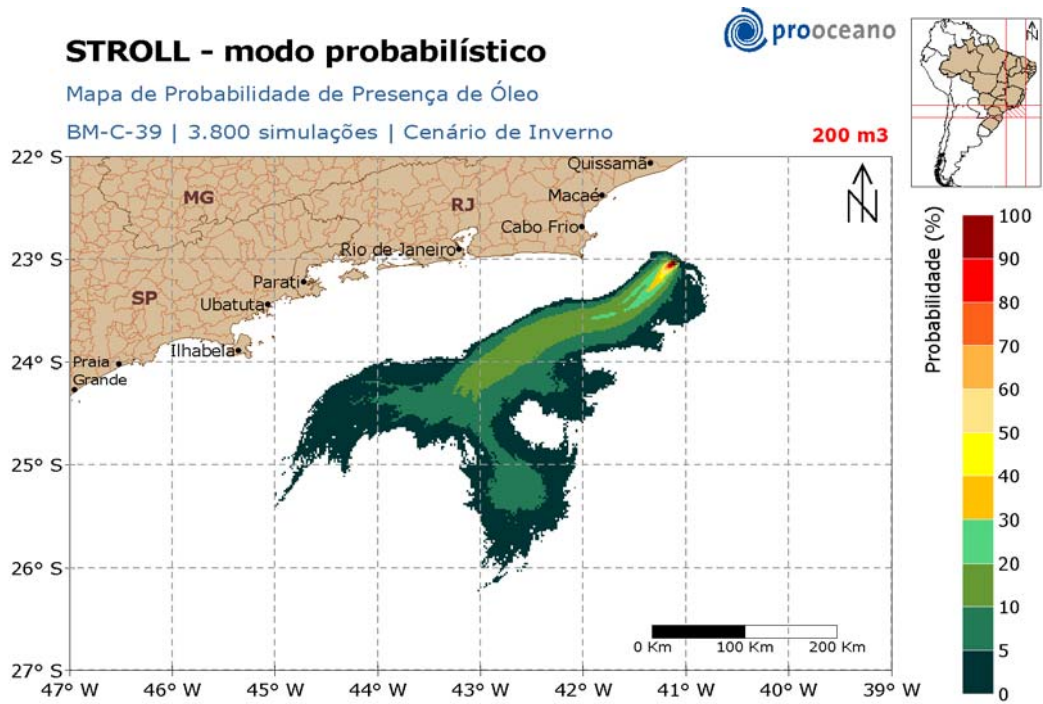


Figura 13: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 200 m³, no cenário de inverno.

Assim como no cenário de verão, no inverno a deriva do óleo também foi preferencial para sudoeste do poço.

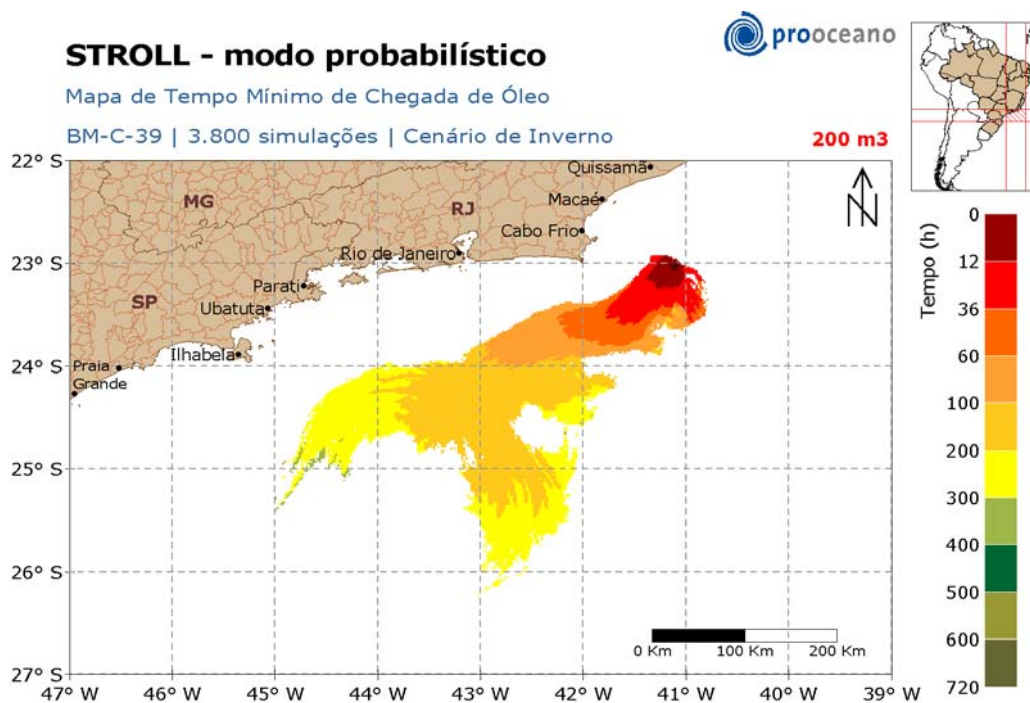


Figura 14: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo, para vazamento de 200 m³, no cenário de inverno.

Nesse cenário todo o Mapa de Tempo Mínimo de Chegada também foi atingido entre 300-400 horas.

V.1.3. Blow-out

A seguir serão apresentados os resultados obtidos nas simulações probabilísticas de *blow-out*. Para esses cenários foi considerado um vazamento contínuo durante 30 (trinta) dias. O tempo simulado abrange os 30 dias de vazamento e mais 30 dias após o término do mesmo, totalizando 60 dias de simulação.

Nas figuras apresentadas foi delimitado o domínio do modelo utilizado para a realização das simulações nos cenários de verão e inverno.

V.1.3.1. Verão

O Mapa de Probabilidade e o Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo para um cenário de *blow-out* com volume vazado de 15.120 m³, no período de verão são apresentados na Figura 15 a Figura 18.

STROLL - modo probabilístico



Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-39 | Cenário de Verão

15.120 m3

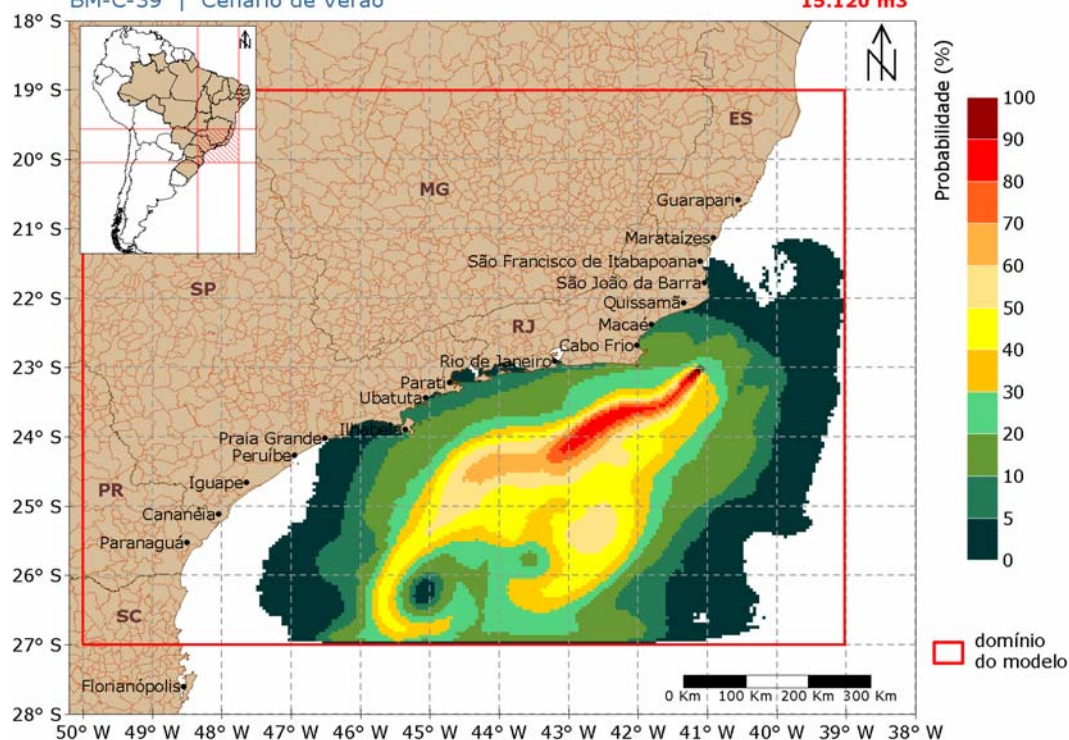


Figura 15: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de verão.

A deriva do óleo ocorre preferencialmente para sudoeste do poço, porém também há deriva rumo a norte/nordeste. O toque na costa ocorre de São Francisco do Itabapoana no Estado do Rio de Janeiro até Praia Grande no Estado de São Paulo. A região da costa com maior probabilidade de presença de óleo, 20-10%, estendeu-se de Cabo Frio – RJ a Saquarema - RJ, além da Ilhabela no Estado de São Paulo.

STROLL - modo probabilístico



Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-39 | Cenário de Verão

15.120 m3

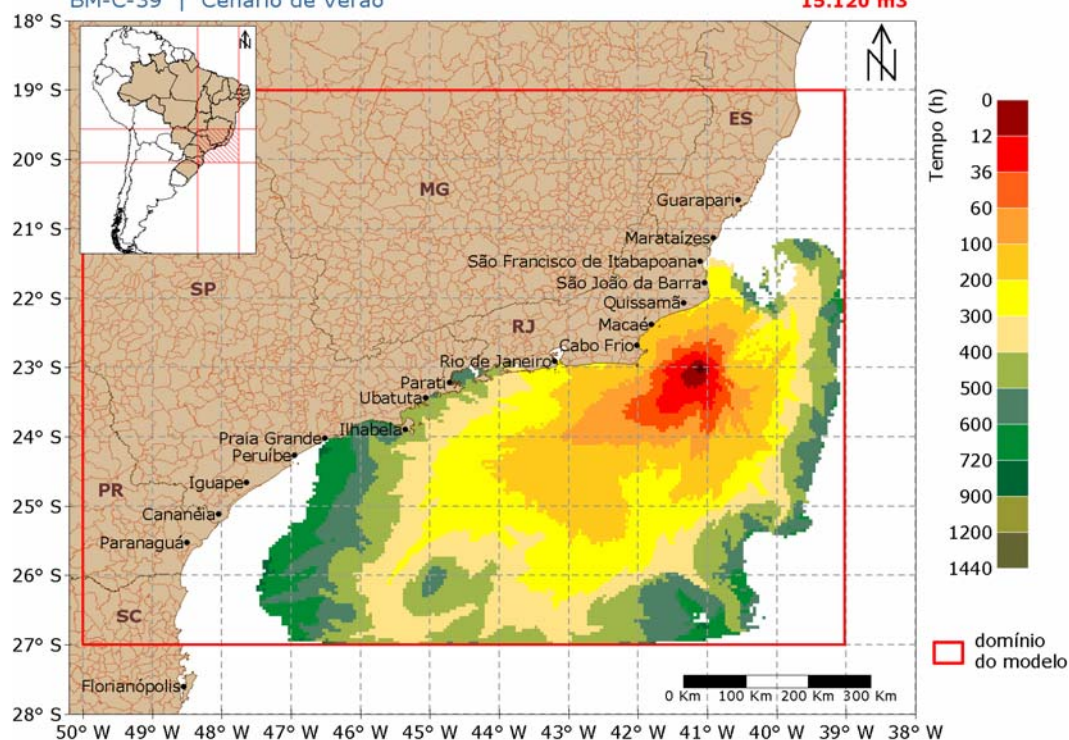


Figura 16: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de verão.

O tempo mínimo de toque na costa, nesse cenário, ocorre entre 100-200 horas nos municípios de Quissamã - RJ à Niterói – RJ. O Estado de São Paulo é atingido em 400-500 horas após o início do vazamento.

STROLL - modo probabilístico

Volume Máximo de Óleo na Costa

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-39 | Cenário de Verão

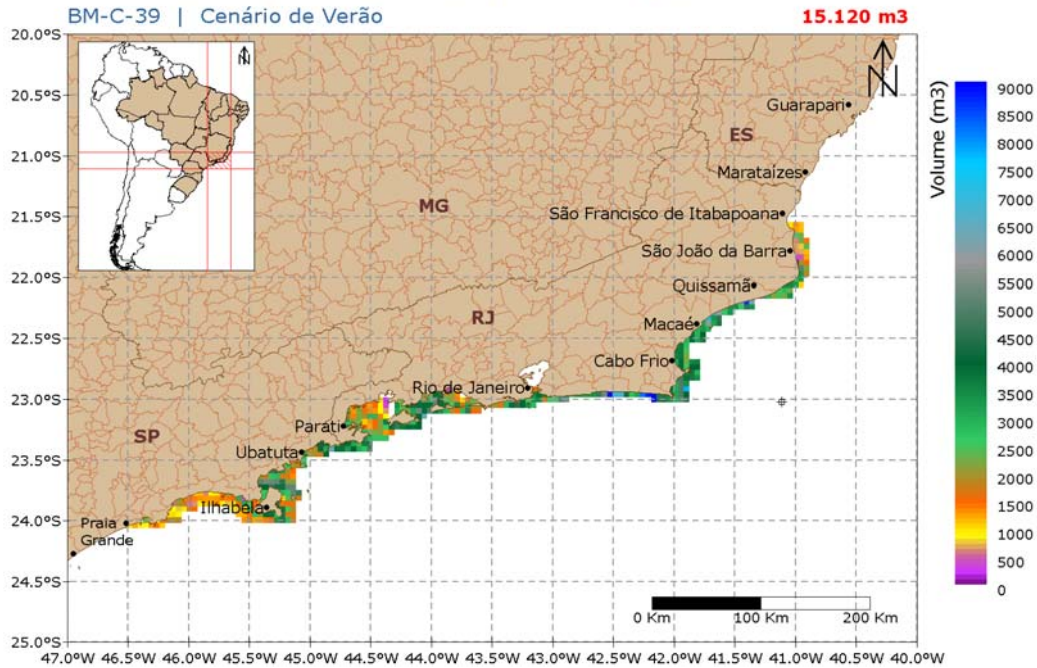


Figura 17: Volume máximo de óleo na costa, após as simulações de 60 dias no cenário de verão.

Ao analisarmos o volume máximo de óleo que atinge a costa, observamos que as áreas que apresentaram os maiores volumes (aproximadamente 9000 m³) situam-se entre Arraial do Cabo e Saquarema - RJ. Essa região é uma das que tiveram o menor tempo mínimo de chegada de óleo. As regiões com menor volume máximo encontram-se no limite sul do mapa de probabilidade.

Para uma melhor análise dos tempos de chegada de óleo na costa, foram gerados histogramas com as freqüências de ocorrência das classes de tempo e fração de massa na costa para toda a simulação probabilística (Figura 18). O gráfico de probabilidade com os histogramas de tempo de chegada facilita a análise conjunta dos resultados.

STROLL - Modo Probabilístico



Histograma de Tempo de Chegada

BM-C-39 | Cenário de Verão

15.120 m³

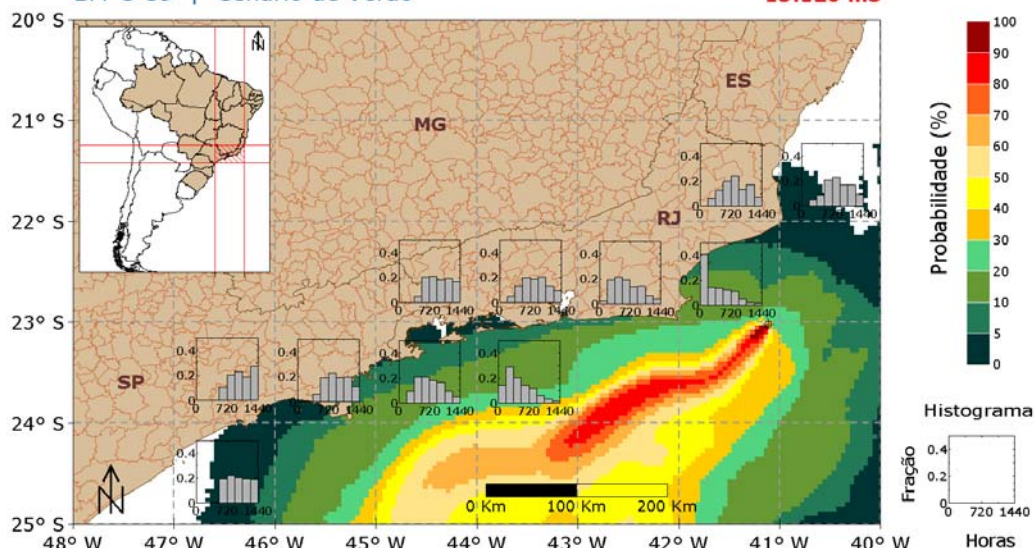


Figura 18: Histogramas de tempo de chegada de óleo próximo à costa no cenário de verão.

Os histogramas de tempo de chegada, no cenário de verão, mostram que nas regiões mais próximas ao local de vazamento os tempos de chegada são antes da metade da simulação (720h). Seguindo para sudoeste e oeste do poço, os tempos de chegada aumentam progressivamente.

V.1.3.2. Inverno

A seguir, nas Figura 19 a Figura 22, serão apresentados os resultados obtidos no período de inverno para um cenário de *blow-out*, volume vazado de 15.120 m³.

STROLL - modo probabilístico



Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-39 | Cenário de Inverno

15.120 m3

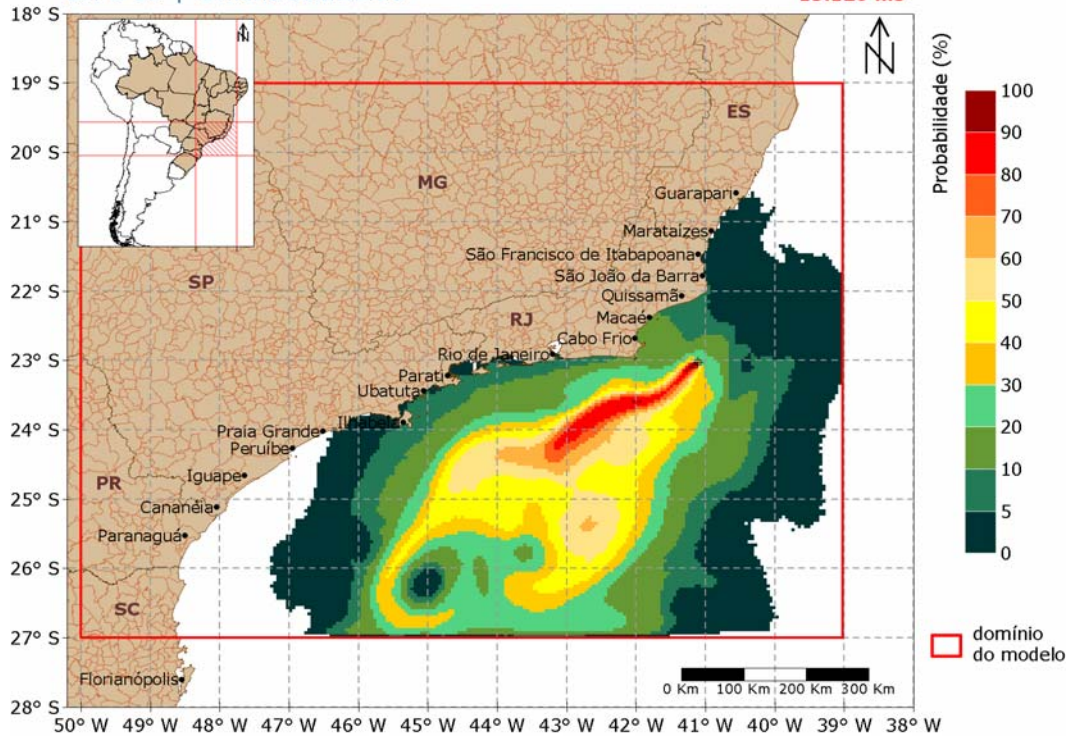


Figura 19: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de inverno.

Nesse cenário a deriva do óleo na direção norte/nordeste foi maior que o observado no cenário de verão, e conseqüentemente a extensão de costa com probabilidade de presença de óleo também foi maior, estendendo-se de Guarapari no Espírito Santo à Praia Grande, no Estado de São Paulo. A região com maior probabilidade de presença de óleo localiza-se entre Macaé e Arraial do Cabo – RJ, 20-10%. O Espírito Santo tem probabilidade de presença entre 5-0% e São Paulo entre 10-0%.

STROLL - modo probabilístico



Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-39 | Cenário de Inverno

15.120 m³

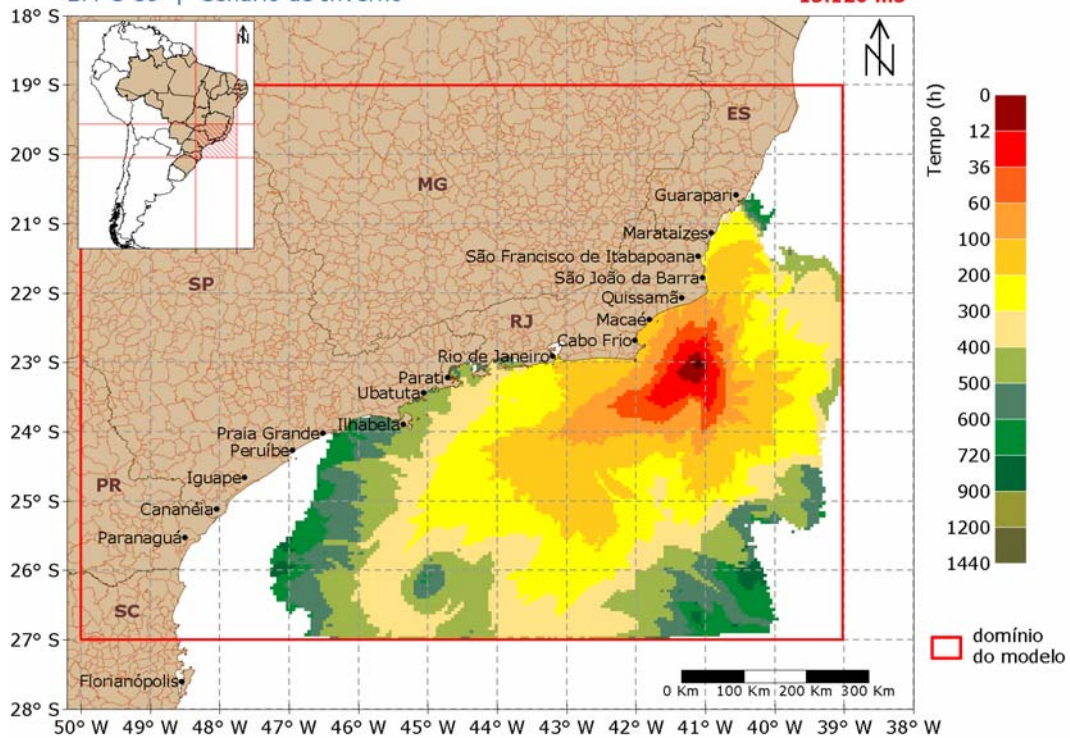


Figura 20: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de óleo, para vazamento de 15.120 m³, no cenário de inverno.

No cenário de inverno o tempo mínimo de chegada de óleo é menor, 60-100 horas, na região do município de Arraial do Cabo - RJ. O Espírito Santo é atingido entre 200-300 horas. São Paulo, entre 400-500 horas, tem probabilidade de apresentar óleo em sua costa.

Observa-se que algumas trajetórias são cortadas na fronteira oeste (canto inferior esquerdo do domínio do modelo) e na fronteira sul. As trajetórias que são cortadas na fronteira sul são irrelevantes para regiões de toque na costa, uma vez que dirigem-se para regiões *off-shore*. As trajetórias que são cortadas na fronteira oeste, por sua vez, poderiam, atingir a região costeira do Estado do Paraná e Santa Catarina.

No entanto é importante ressaltar que a probabilidade de presença de óleo observada nessa região do mapa restringe-se ao intervalo entre 5-0%, em ambos os cenários.

Outro aspecto importante a ser ressaltado é o fato de que o aumento significativo dos domínios espaciais modelados, em função do tempo de deriva do óleo (60 dias), faz com que haja um grande aumento no esforço computacional envolvido na correta solução do modelo. Esse esforço (a saber: memória RAM, tempo computacional e manipulação dos arquivos gerados) aumenta, no mínimo, exponencialmente, com o aumento do tamanho da grade. Em contrapartida, uma redução na resolução espacial que diminuiria o esforço

computacional faz com que importantes processos, principalmente os que ocorrem próximos ao local de vazamento, não sejam corretamente representados.

Para minimizar esse problema potencial, na escolha do domínio do modelo em questão, foi realizada uma ponderação de perdas e ganhos, em termos de resolução espacial e consequente melhor representação da comportamento do óleo nas regiões adjacentes ao local de vazamento, bem como de sua deriva e seu alcance, após os 60 dias de simulação.

Diante do exposto, acredita-se que embora algumas trajetórias do óleo tenham sido cortadas, o uso do resultado final da modelagem apresentada, como base para tomada de decisões em outros itens do estudo, não é, de forma alguma, comprometido.

STROLL - modo probabilístico



Volume Máximo de Óleo na Costa

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-39 | Cenário de Inverno

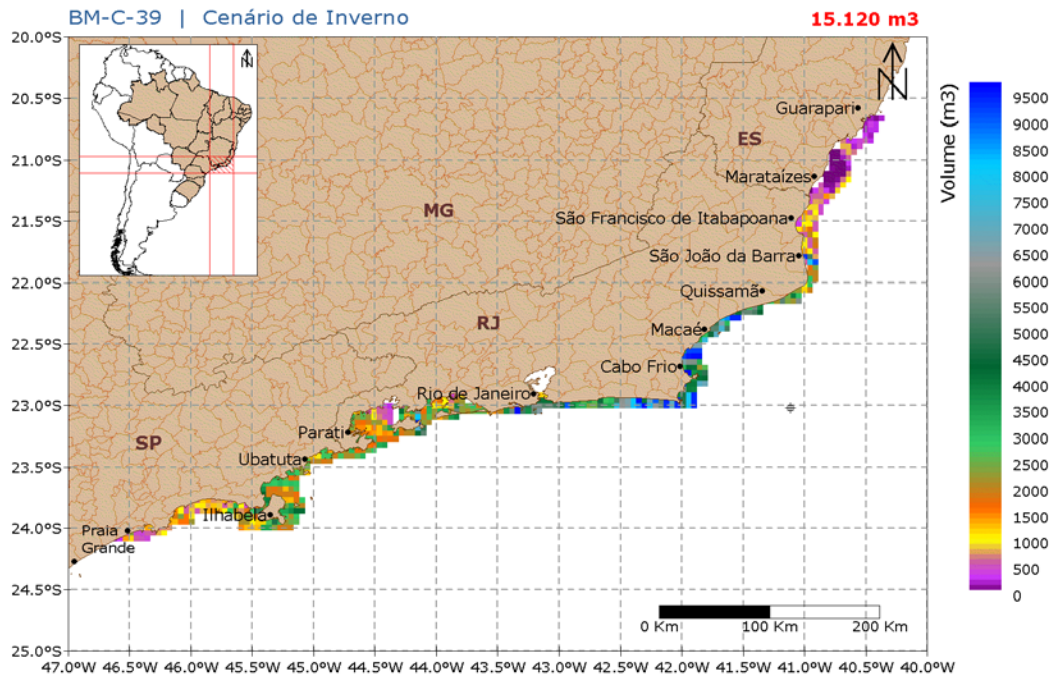


Figura 21: Volume máximo de óleo na costa no cenário de inverno.

A região da costa do Estado do Rio de Janeiro é a que apresenta os maiores valores de volume máximo de óleo (aproximadamente 9500 m³). Essa área tem o menor tempo mínimo de chegada do óleo. No limite norte do Mapa de Probabilidade, no Estado do Espírito Santo, são encontrados os menores valores máximos.

Para uma melhor análise dos tempos de chegada de óleo na costa, foram gerados histogramas com as frequências de ocorrência das classes de tempo e fração de massa na costa para toda a simulação probabilística (Figura 22).

STROLL - Modo Probabilístico

Histograma de Tempo de Chegada
 BM-C-39 | Cenário de Inverno

15.120 m³

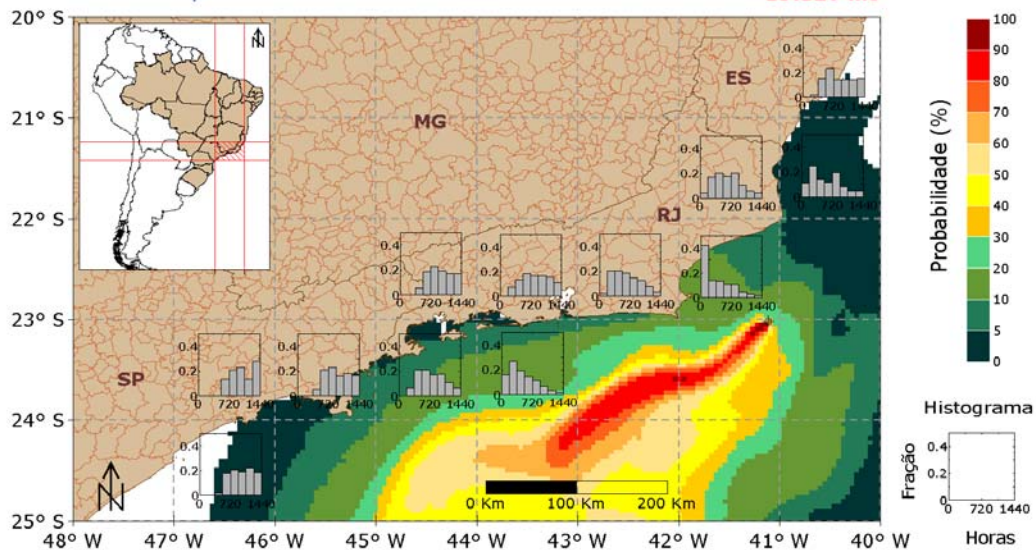


Figura 22: Histogramas de tempo de chegada de óleo próximo à costa no cenário de inverno.

No cenário de inverno observa-se um resultado semelhante ao cenário de verão, com o tempo de chega aumentando em relação à distância do local de vazamento.

A seguir, na Tabela 3, serão apresentados os volumes máximos, às classes de probabilidade e tempo mínimo de chegada de óleo de cada município com possibilidade de serem atingidos pelo óleo em um evento de *blow-out*.

Tabela 3: Volume máximo, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de presença de óleo em um evento de *blow-out* nos cenários de verão e inverno.

	MUNICÍPIOS	Volume Máximo (m ³)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo de Toque (h)	
		VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO
Espírito Santo	Guarapari	-	190	-	5-0	-	300-400
	Anchieta	-	733	-	5-0	-	200-300
	Piúma	-	733	-	5-0	-	200-300
	Itapemirim	-	50	-	5-0	-	200-300
	Marataízes	-	57	-	5-0	-	200-300
	Presidente Kennedy	-	514	-	5-0	-	200-300
Rio de Janeiro	São Francisco de Itabapoana	1354	1460	5-0	5-0	200-300	200-300
	São João da Barra	5150	9389	5-0	10-5	200-300	100-200
	Campos dos Goytacazes	5150	5939	5-0	10-5	200-300	60-100
	Quissamã	8728	5893	10-5	10-5	100-200	60-100
	Carapebus	6835	8747	10-5	10-5	100-200	60-100
	Macaé	7287	5551	10-5	20-10	100-200	100-200
	Rio das Ostras	3943	9219	10-5	20-10	100-200	100-200
	Casimiro de Abreu	5714	9283	10-5	20-10	100-200	100-200
	Armação dos Búzios	4360	9800	20-10	20-10	100-200	100-200
	Cabo Frio	4162	9800	20-10	20-10	100-200	100-200
	Arraial do Cabo	9128	9500	20-10	20-10	100-200	100-200
	Araruama	3200	9643	20-10	10-5	100-200	100-200
	Saquarema	8987	8140	20-10	10-5	100-200	100-200
	Maricá	7146	9142	10-5	10-5	100-200	100-200
	Niterói	3971	6814	10-5	10-5	100-200	100-200
	Rio de Janeiro	6602	9664	10-5	10-5	200-300	100-200
	Itaguaí	1982	2067	5-0	5-0	400-500	500-600
	Mangaratiba	4374	3223	5-0	10-5	300-400	300-400
	Angra dos Reis	4289	4176	5-0	5-0	400-500	400-500
	Ilha Grande (Angra dos Reis)	5354	9508	10-5	10-5	300-400	300-400
Parati	4176	2701	10-5	10-5	400-500	300-400	
São Paulo	Ubatuba	6398	3372	10-5	10-5	400-500	400-500
	Caraguatatuba	5163	5058	10-5	10-5	400-500	400-500
	Ilhabela	4705	5058	20-10	10-5	400-500	400-500
	São Sebastião	3929	5058	10-5	10-5	400-500	400-500
	Bertioga	2243	1516	5-0	5-0	500-600	500-600
	Guarujá	1855	1904	5-0	5-0	500-600	600-720
	Santos	1290	1234	5-0	5-0	600-720	600-720
	São Vicente	2384	1410	5-0	5-0	600-720	720-900
	Praia Grande	2384	2335	5-0	5-0	600-720	720-900

V.2. Modo Determinístico

Com base nos resultados obtidos nas simulações probabilísticas foi identificado o cenário de pior caso para ocorrência de um evento de *blow-out* decorrente da atividade de perfuração no bloco BM-C-39. O cenário que apresentou o menor tempo mínimo de toque na costa foi o de inverno, este ocorre entre 60-100 horas, portanto será apresentada uma trajetória de pior caso ocorrida no cenário de inverno.

Na Figura 23 à Figura 36 são apresentados instantâneos com os resultados da simulação da dispersão de óleo realizada para a situação escolhida. São também mostrados nas figuras os campos de vento e correntes que transportaram o óleo nesse cenário.

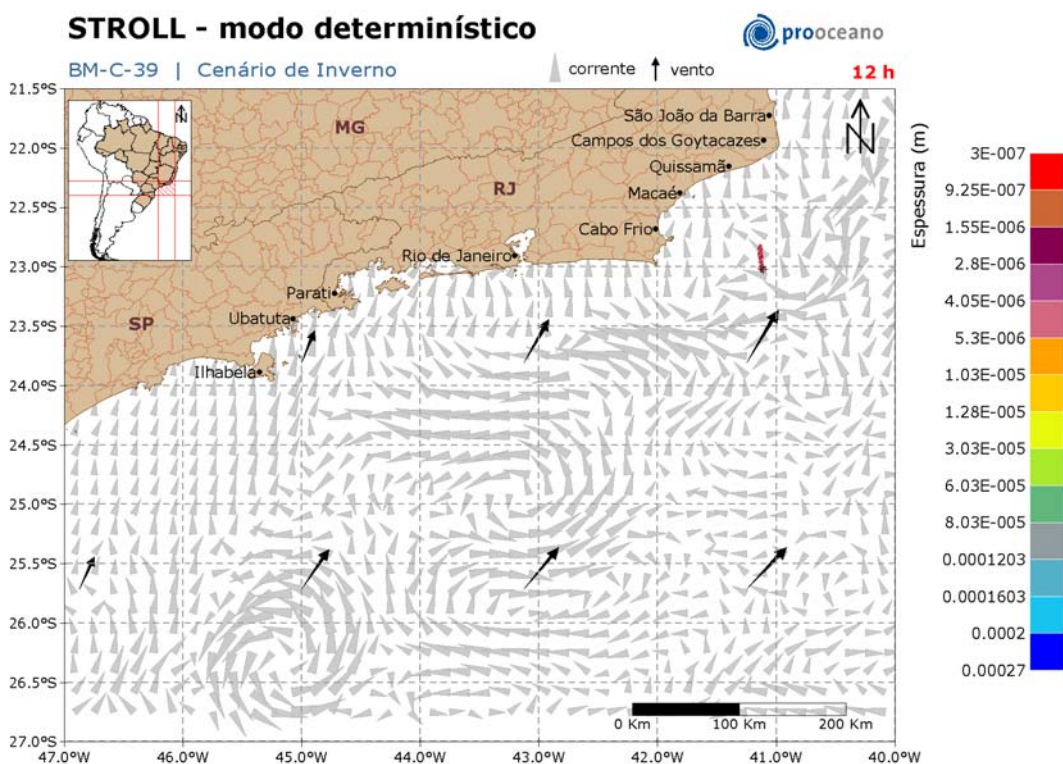


Figura 23: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 12 horas de simulação.

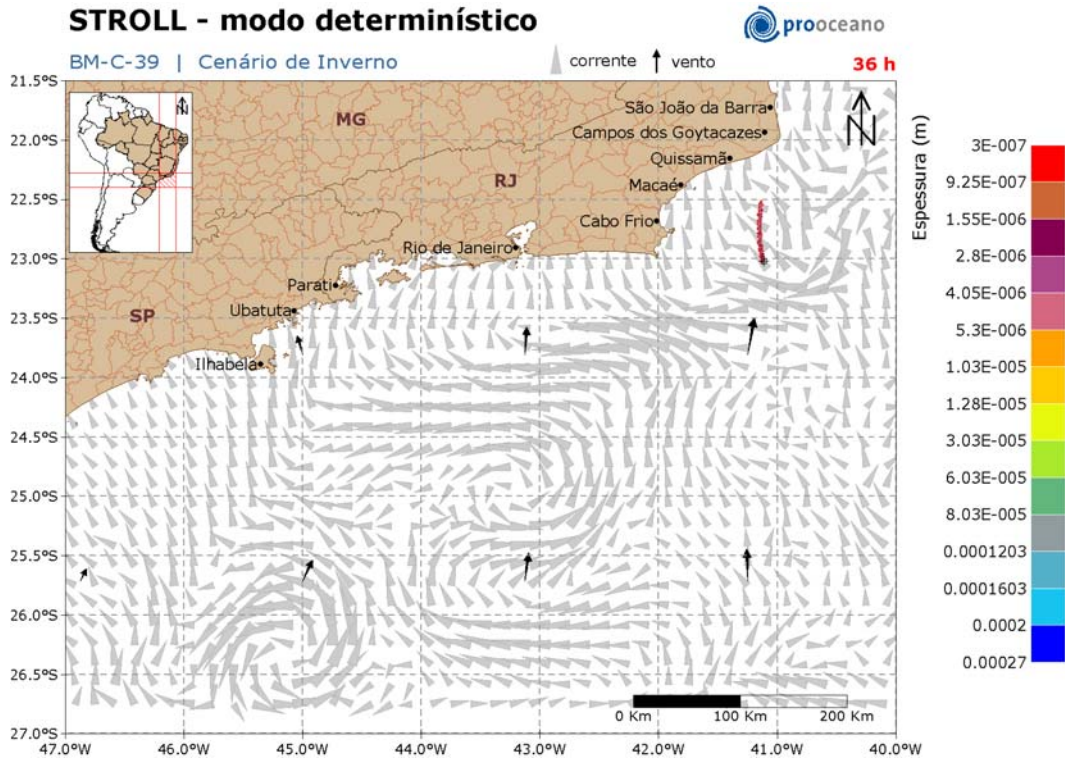


Figura 24: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 36 horas de simulação.

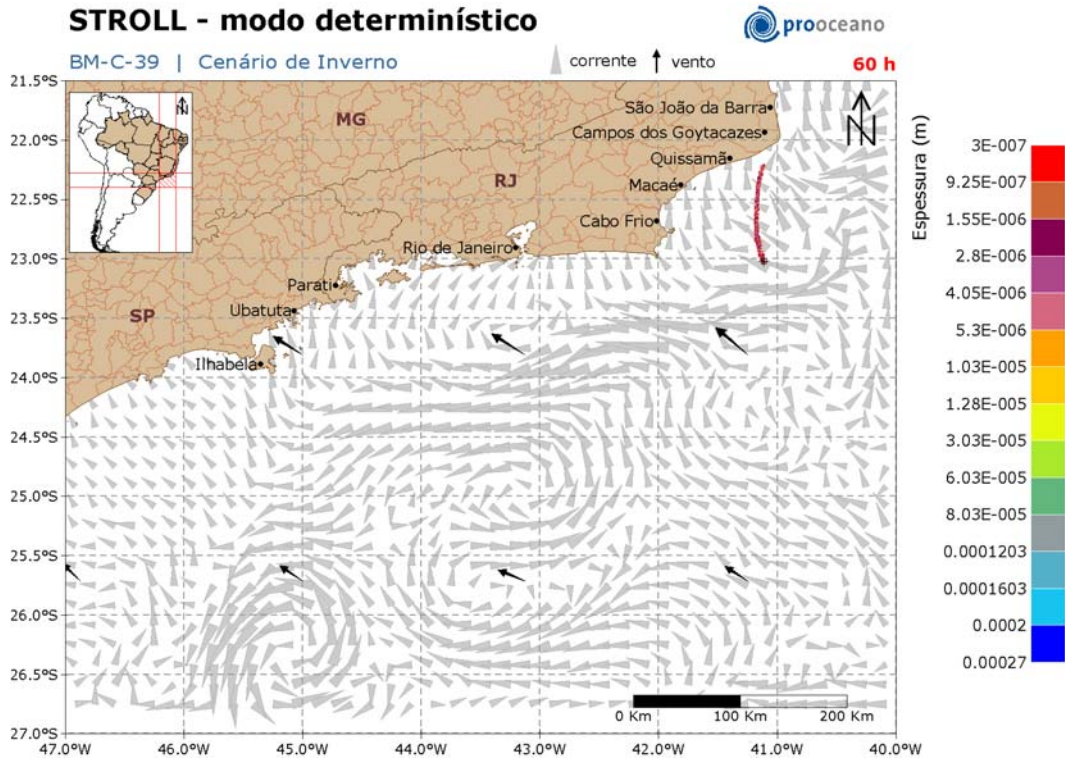


Figura 25: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 60 horas de simulação.

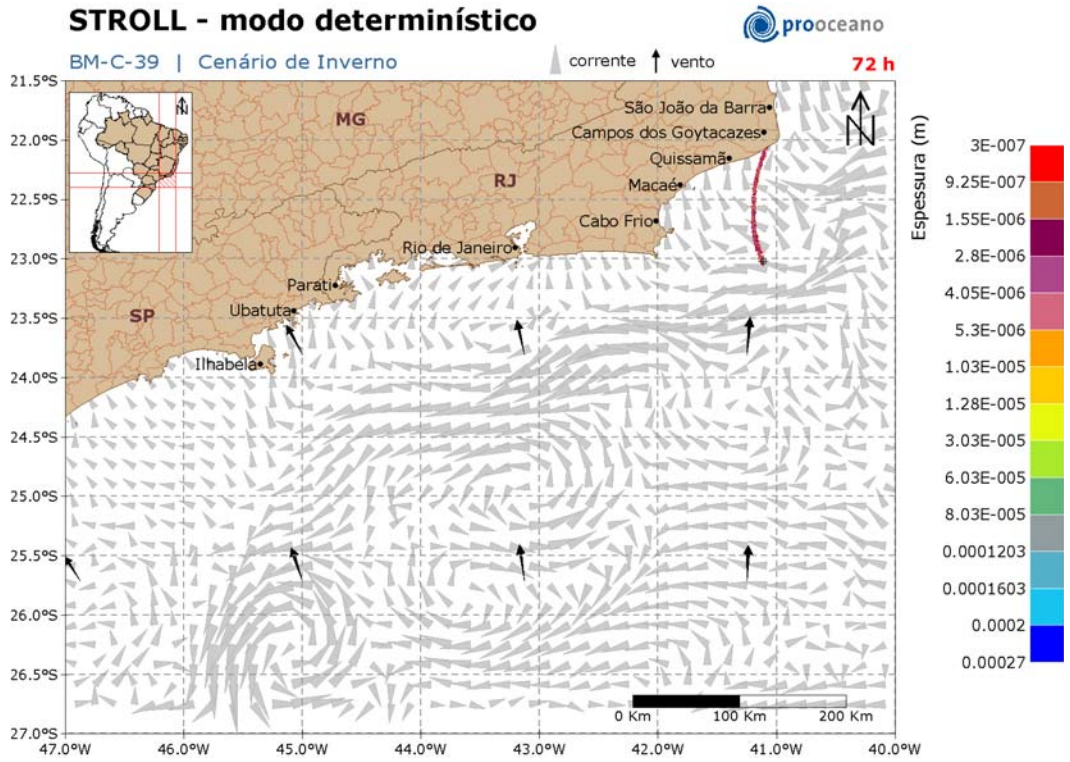


Figura 26: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 72 horas de simulação.

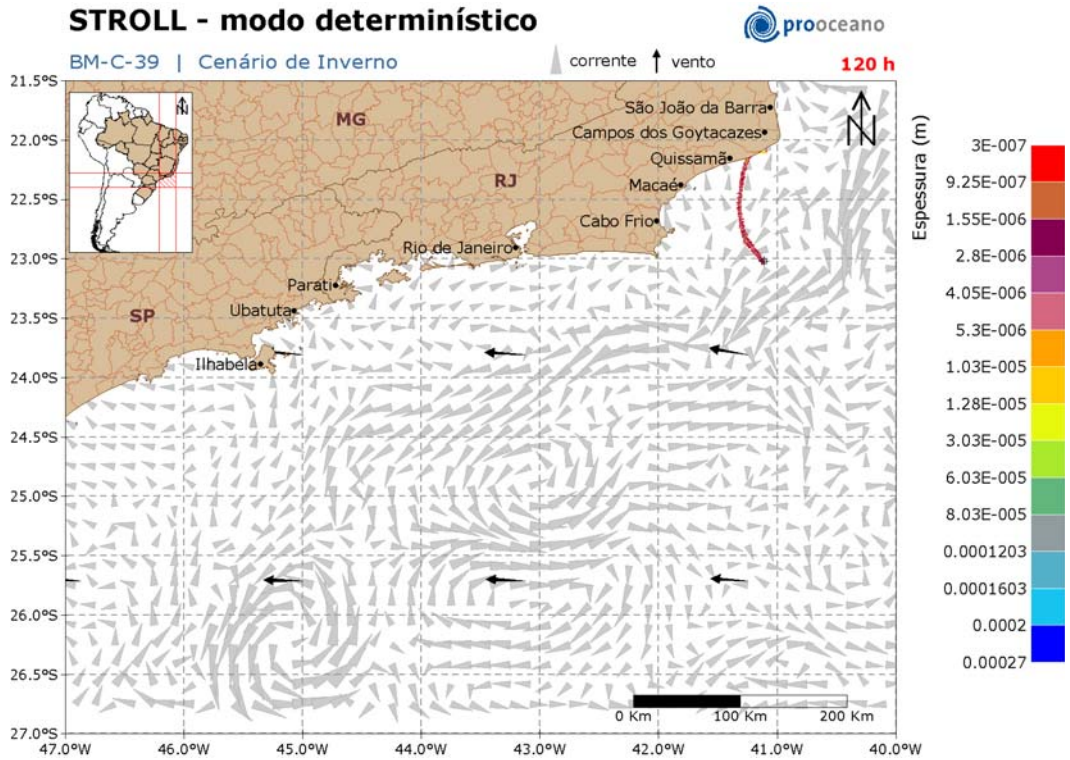


Figura 27: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 120 horas de simulação.

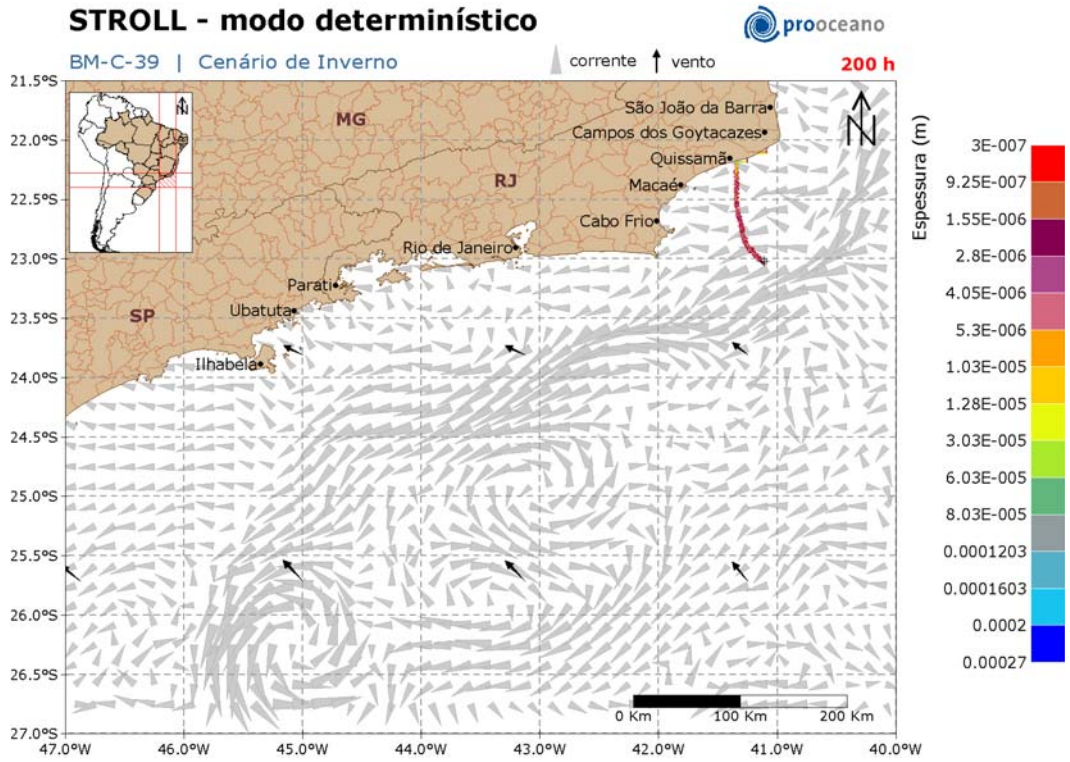


Figura 28: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 200 horas de simulação.

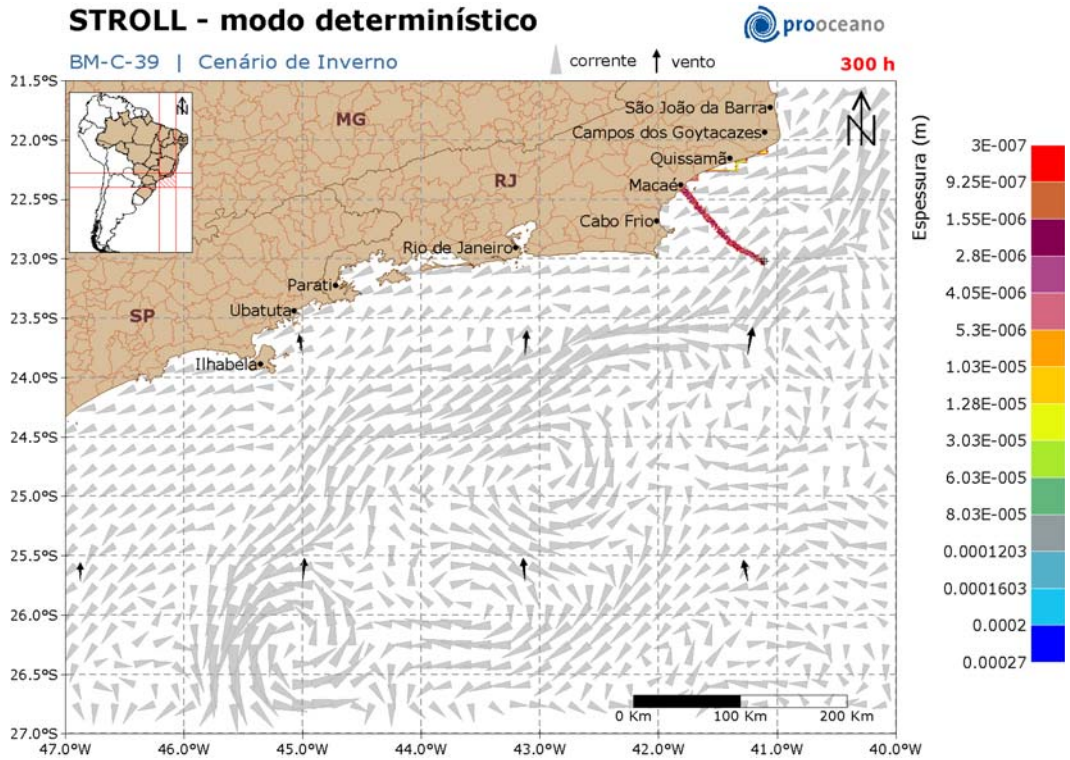


Figura 29: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 300 horas de simulação.

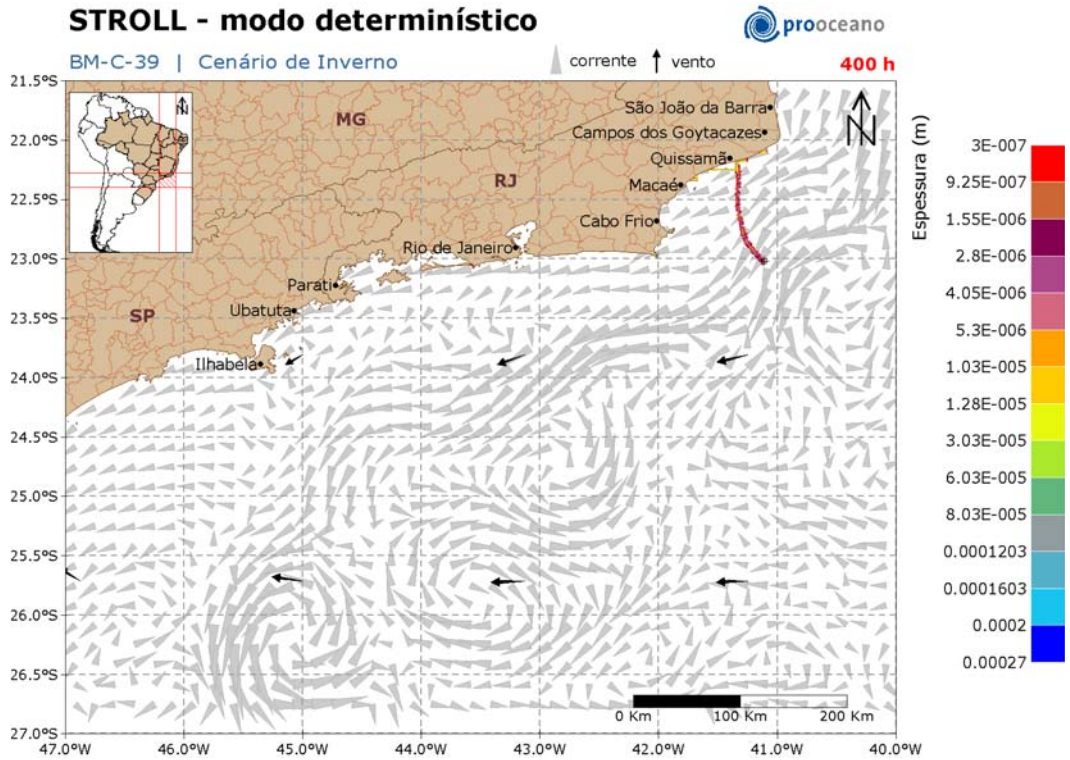


Figura 30: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 400 horas de simulação.

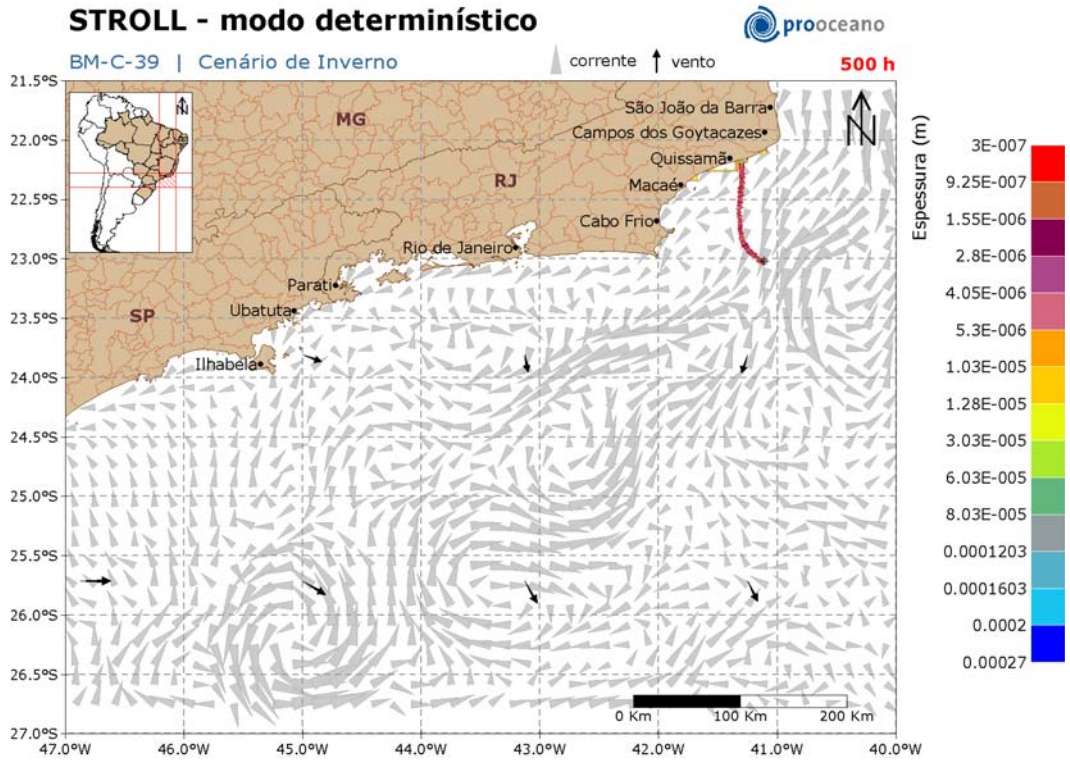


Figura 31: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 500 horas de simulação.

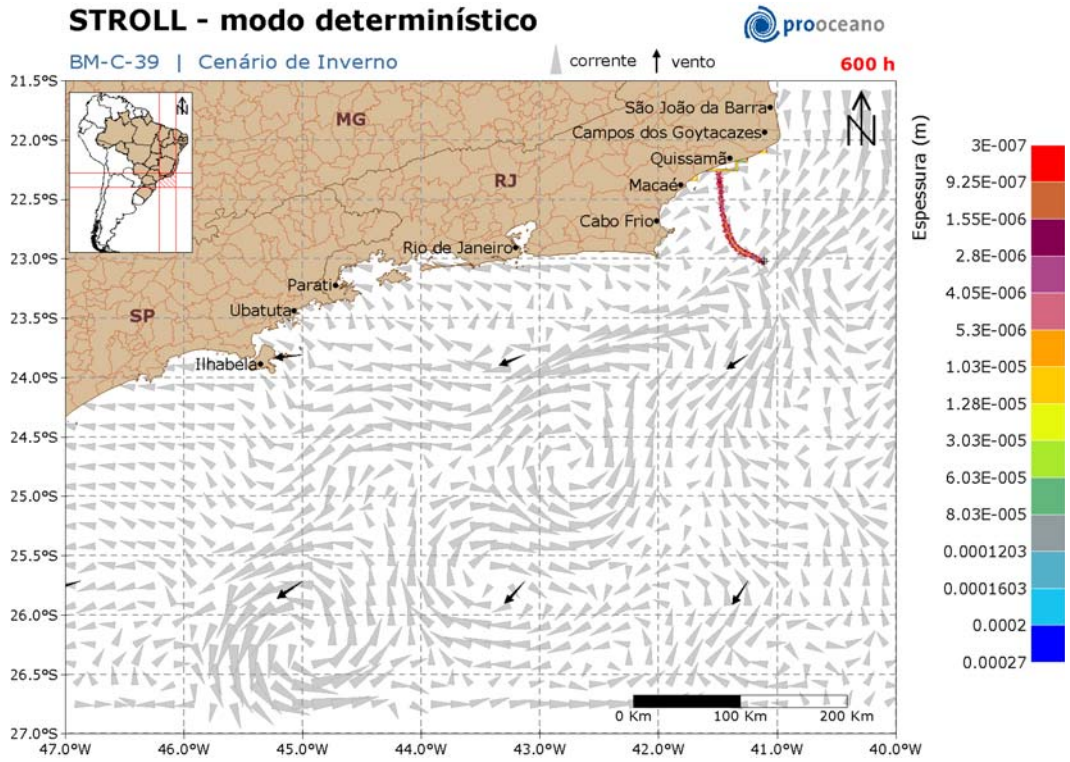


Figura 32: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 600 horas de simulação.

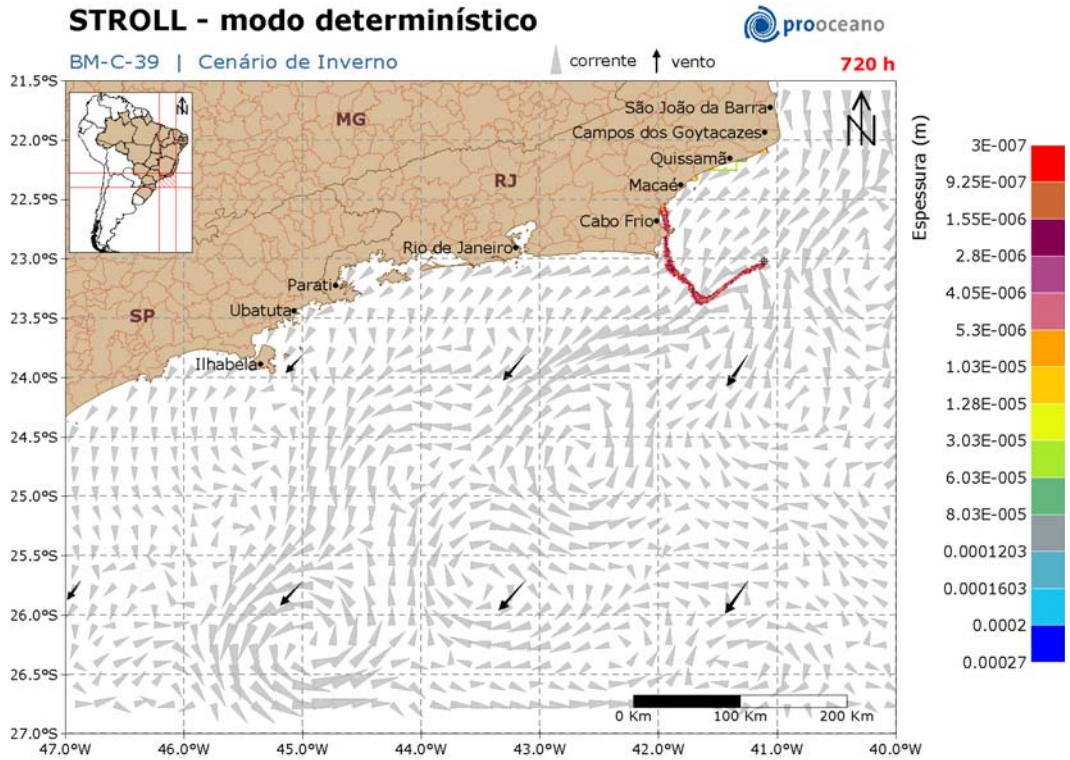


Figura 33: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 720 horas de simulação.

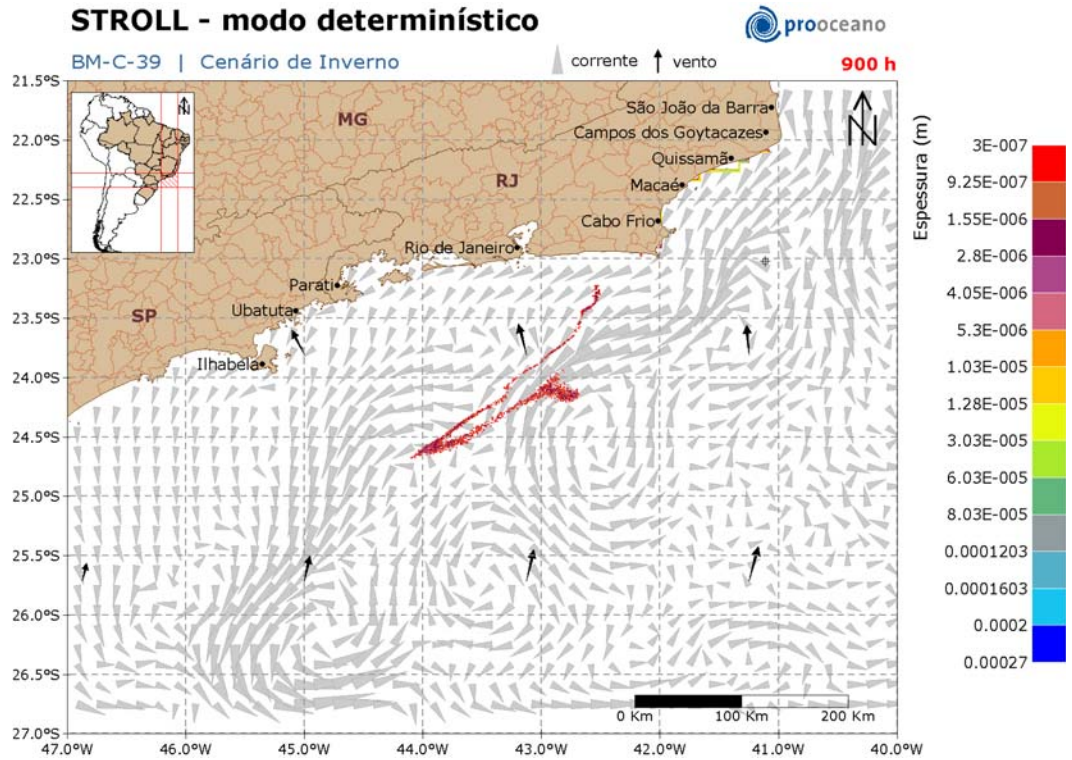


Figura 34: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 900 horas de simulação.

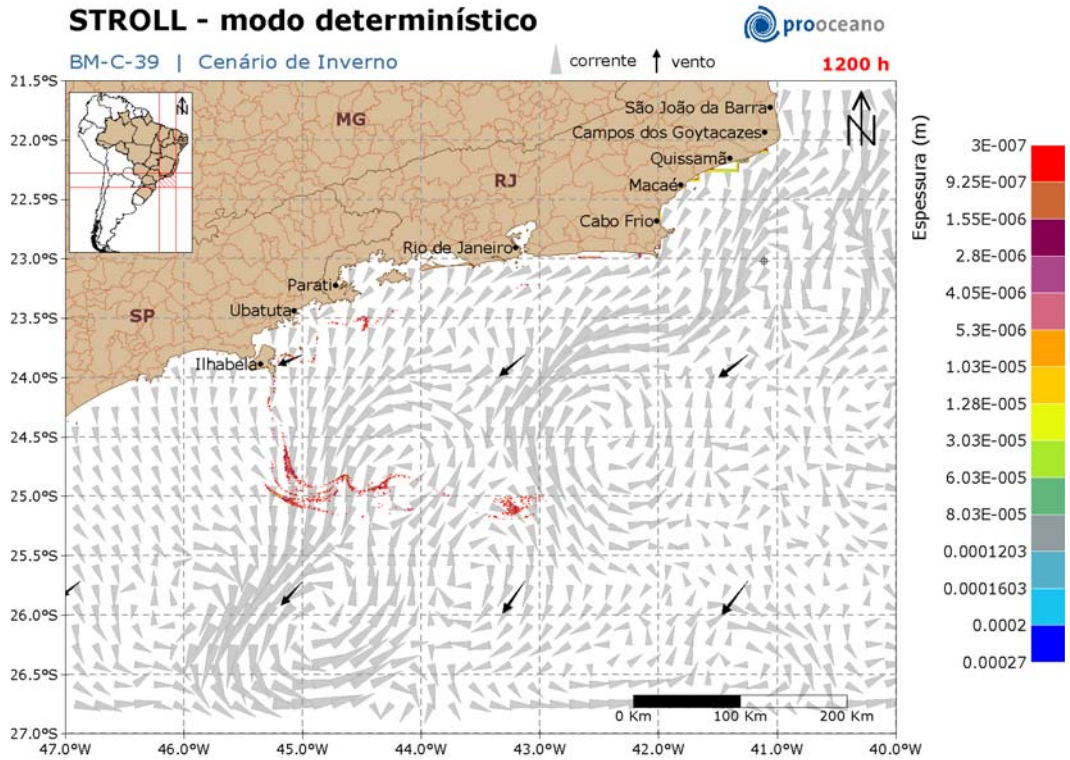


Figura 35: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 1200 horas de simulação.

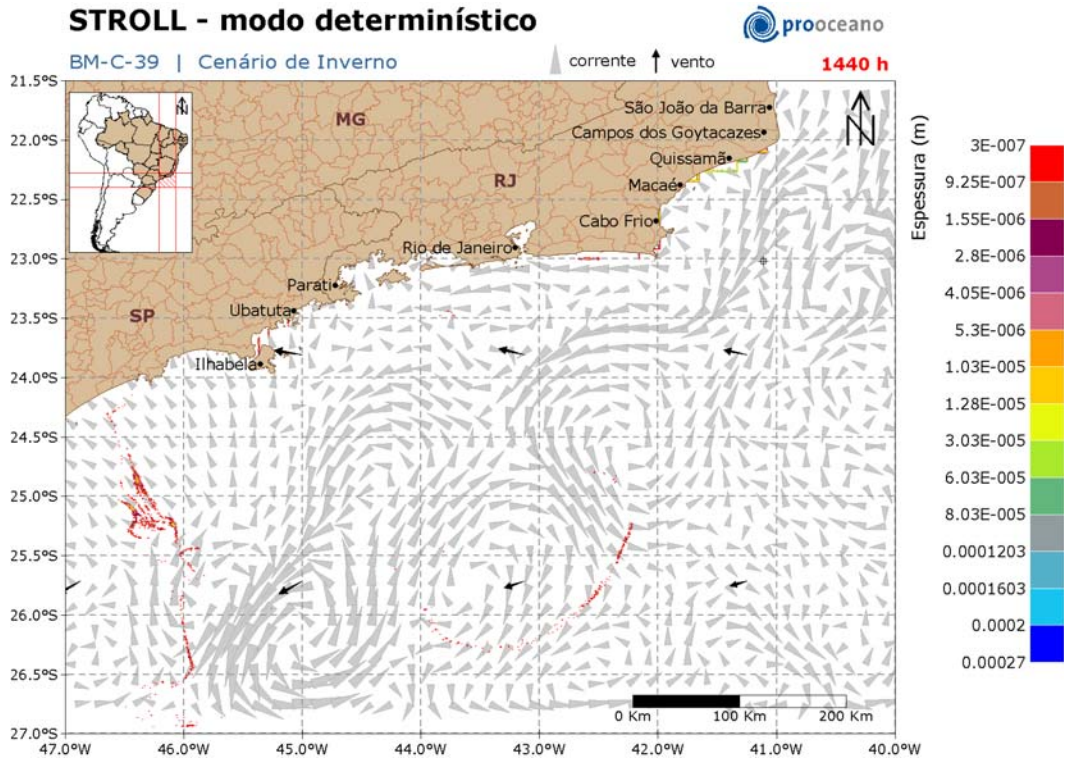


Figura 36: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 1440 horas de simulação.

A deriva do óleo até 36 horas ocorre rumo a norte do poço, após esse momento inicia-se a deriva na direção nordeste até o toque na costa em 72 horas, no município de Campos dos Goytacazes - RJ. Ao final da simulação, 1440h, o óleo atingiu de C. dos Goytacazes - RJ à Ilhabela – SP.

V.3. Balanços de Massa (ou Processos do Intemperismo)

A evolução temporal do balanço de massa obtido nas simulações é apresentada na Figura 37.

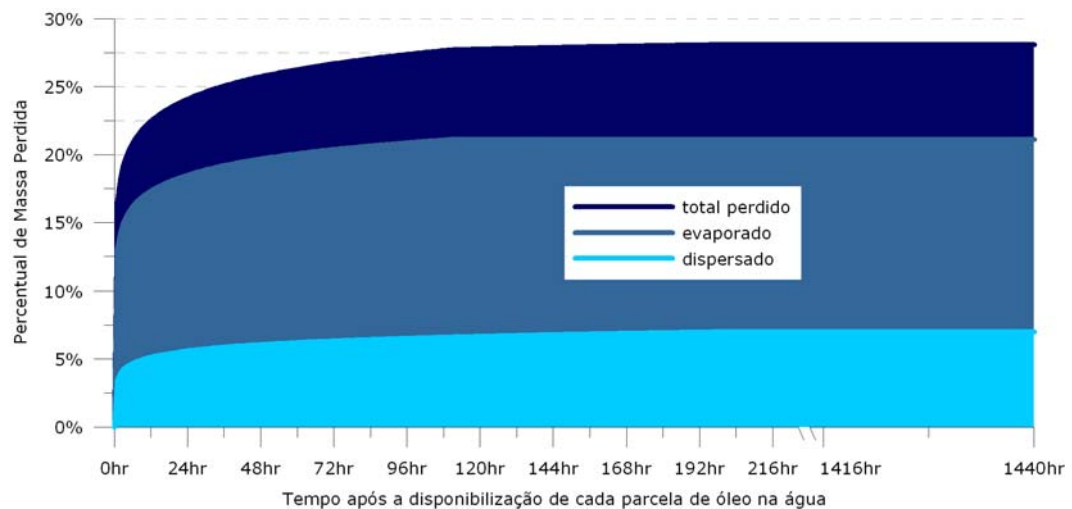


Figura 37: Evolução Temporal do Balanço de Massa ao longo da Simulação.

Ao longo da simulação a massa total de óleo perdida foi de 28,1%, sendo que esse valor é alcançado em até 201 horas após a disponibilização do óleo na água.

A perda total por evaporação foi o processo mais efetivo ao longo da simulação, consumindo 21,1% da massa, sendo essa porcentagem alcançada 108 horas após o início do vazamento.

A perda de massa pela dispersão consumiu 7% do óleo vazado em 201 horas também. O balanço de massa ao longo do tempo pode ser observado nas Figura 38 a Figura 42.

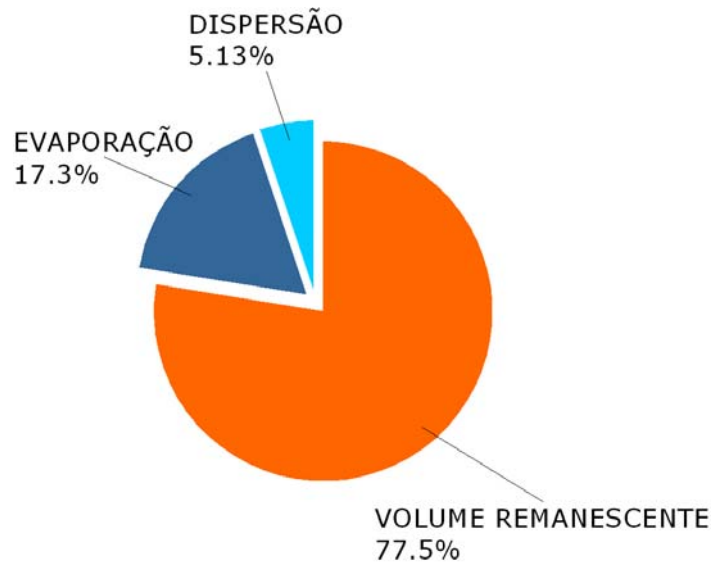


Figura 38: Balanço de Massa, após 12 horas de simulação.

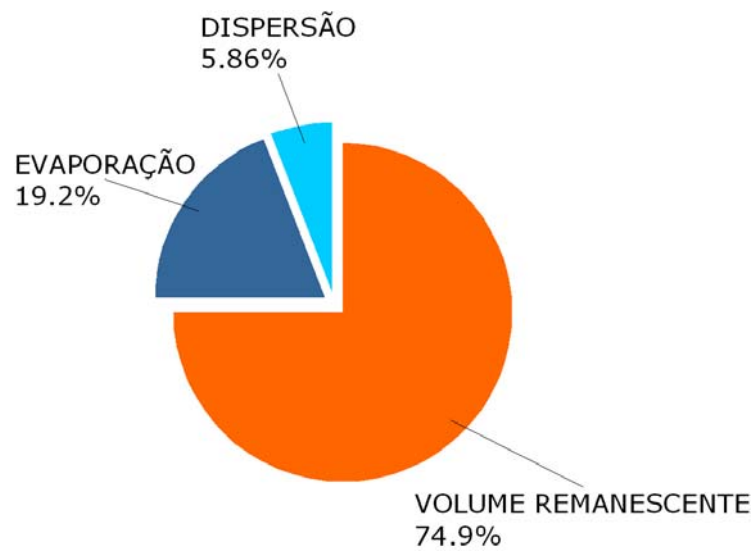


Figura 39: Balanço de Massa, após 36 horas de simulação.

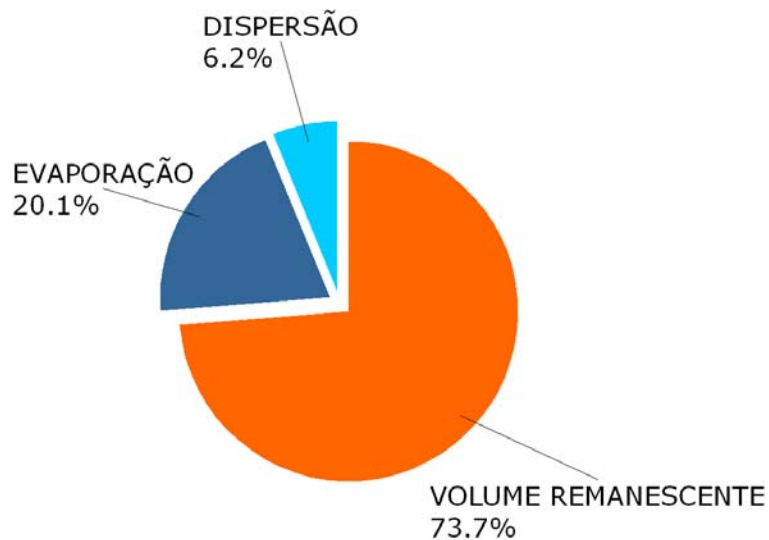


Figura 40: Balanço de Massa, após 60 horas de simulação.

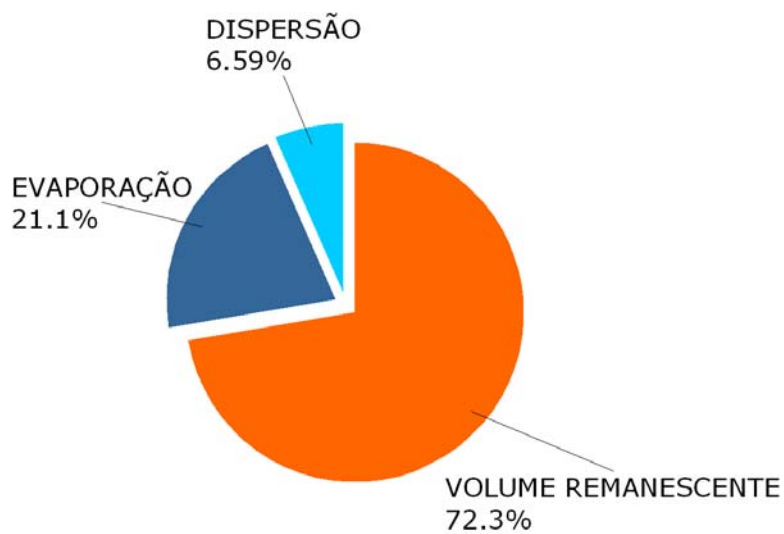


Figura 41: Balanço de Massa, após 108 horas de simulação.

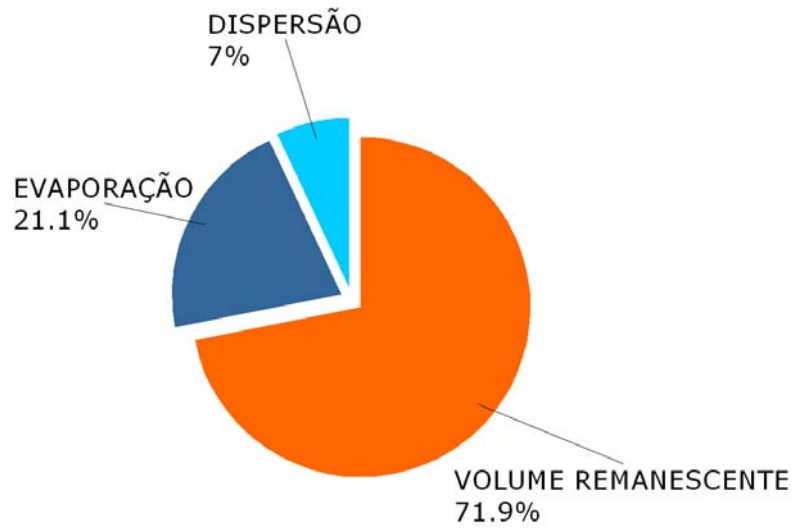


Figura 42: Balanço de Massa, após 201 horas de simulação.

VI. CONCLUSÃO

Em todas as simulações probabilísticas, pequeno e médio volume, além do *blow-out*, a deriva preferencial do óleo foi para sudoeste do poço.

Nos vazamentos de pequeno e médio volume, nos cenários de verão e inverno não se demonstrou probabilidade do óleo chegar à costa.

Os resultados obtidos na simulação de *blow-out* mostraram que a extensão de costa com probabilidade de presença de óleo foi maior no cenário de inverno, abrangendo a região entre Guarapari – ES e Praia Grande - SP. No cenário de verão a área de costa que pode ser atingida pelo óleo situa-se entre o município de São Francisco do Itabapoana – RJ e Praia Grande – SP. O tempo mínimo de chegada do óleo na costa foi menor no cenário de inverno, 60-100 horas, enquanto no cenário de verão foi de 100-200 horas.

Com base nos resultados do modo probabilístico foi definido um cenário crítico de inverno. O critério escolhido para definição da situação foi à trajetória que mais rapidamente alcançou à costa.

Na trajetória escolhida para o cenário de inverno, a deriva do óleo ocorreu, inicialmente, para norte do poço, tocando a costa de Campos dos Goytacazes - RJ em 72 horas.

Os resultados obtidos em relação ao intemperismo do óleo mostraram que após 201 horas da disponibilização de cada parcela de óleo na água, os processos não mais atuam. A massa total de óleo perdida foi de 71,9%, sendo que a evaporação consumiu 21,1% desse total.

VII. BIBLIOGRAFIA

CSANADY, G. T., 1972. Turbulent Diffusion in the Environment. Geophysics and Astrophysics Monographs, Vol.3, 247 pp., D. Reidel Publishing Company, Dordrecht: Holland.

DELVIGNE G.A.L. and SWEENEY C.E.. Natural dispersion of Oil. Oil & Chemical Pollution 4 (1988) 281-310.

DELVIGNE G.A.L., Hulsen L. Simplified laboratory experiments of oil dispersion coefficient- Application of computations of natural oil dispersion. Proc. 17th AAM Oilspill Program Technical Seminar. Vancouver, Canada, 1994.

DING, L.; FARMER, D. M. 1994. Observations of breaking wave statistics. Journal of Physical Oceanography 24, 1368-1387.

ELLIOTT A.J. A probabilistic description of the wind over Liverpool Bay with application to oil spill simulations Estuarine, *Coastal and Shelf Science* 61 (2004) 569–581.

ELPN/IBAMA. Informação Técnica nº 023/2002. Modelagem de Derramamento de Óleo no Mar.

FLORES, et al. Computer Modeling of Oil Spill Trajectories with a High Accuracy Method. Spill Science & Technology Bulletin. v. 5, n.5-6, 1999, p. 323-330.

JONES. R. 1997 A simplified Pseudo-component Oil evaporation Model. NOAA, USA in Proceedings of the Twentieth Arctic and Marine Oilspill Program, Technical Seminar, Volume 1, p.43-60. Vancouver, Canada.

KALNAY, E, M. KANAMITSU, R. KISTLER, W. COLLINS, D. DEAVEN, L. GANDIN, M. IREDELL, S. SAHA, G. WHITE, J. WOOLLEN, Y. ZHU, M. CHELLIAH, W. EBISUZAK, W. HIGGINS, J. JANOWIAK, K.C. MO, C. ROPELEWSKI, J. WANG, A.LEETMAA, R. REYNOLDS, R. JENNE, D. JOSEPH, 1996: "The NCEP /NCAR 40-Year Reanalysis Project", Bulletin of the American Meteorological Society, 437-470.

LEHR, W.J., SIMECEK-BEATTY, D., 2000. The relation of Langmuir circulation processes to the standard oil spill spreading, dispersion, and transport algorithms. Spill Science and Technology Bulletin 6, 247–253.

LEHR, W.J., JONES, R., EVANS, M., SIMECEK-BEATTY, D., OVERSTREET, R., 2002. Revisions of the ADIOS oil spill model. Environmental Modelling and Software 17, 191-199.

LYMAN, J. L.; REEHL, W.F.; ROSENBLATT, D.A. Handbook of Chemical Property Estimation Methods. American Chemical Society, Washington D.C., 1990.

MACKAY, D. & R. S. MATSUGU, 1973.: Evaporation rates of liquid hydrocarbon spills on land and water. Can J. Chem. Eng., 51. 434-9.

MACKAY, D., I. BUIST, R. MASCARENHAS & S. PATERSON, 1980.: Oil Spill Processes and Models. Environmental Protection Service. Canada. Report EE-8.

MACKAY, D., SHIU, W.Y., HOSSAIN, K., STIVER, W., MCCURDY, D., PETERSON, S., TEBEAU, P. A., 1983. Development and Calibration of an Oil Spill Behavior Model, Report

No. CG-D-27-83, United States Coast Guard Office of Research and Development, Groton, Conn., USA.

MONAHAN, E., 1971. Oceanic whitecaps. *Journal of Physical Oceanography* 1, 139–144.

NOAA, 2000. Evaporation Technical Notes in ADIOS 2 (Automated Data Inquiry for oil Spills).

OEY, L.-Y., G.L. MELLOR, and R.I. HIRES, 1985a. A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary. Part I: Description of the model and model simulations, *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 1676-1692.

OEY, L.-Y., G.L. MELLOR, and R.I. HIRES, 1985b. A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary. Part II: Comparison with observation, *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 1693-1709.

SOTO, Y. J. M. A modelagem hidrodinâmica como apoio a tomada de decisão em caso de derrame de óleo na parte interna do complexo estuarino Antonina-Paranaguá-PR. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Paraná. 2004.

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



RELATÓRIO TÉCNICO [REV. 00]

MODELAGEM DE DISPERSÃO DE ÓLEO
Bloco BM-C-41

Preparado para:
OGX | HABTEC

Preparado por:
Anna Paula Fagundes
Leandro Calil
Leonardo Marques da Cruz

14 de junho de 2008

PROOCEANO

AV. RIO BRANCO, 311 / 1224 CENTRO
CEP 20.0040-009 RIO DE JANEIRO RJ
TEL | FAX +55 21 2532-5666
WWW.PROOCEANO.COM.BR

RELATÓRIO TÉCNICO [REV.00]

MODELAGEM DE DISPERSÃO DE ÓLEO
Bloco BM-C-41

Preparado para:
OGX | HABTEC

Preparado por:
Anna Paula Fagundes
Leandro Calil
Leonardo Marques da Cruz

14 de junho de 2008

ÍNDICE:

I. INTRODUÇÃO	4
II. METODOLOGIA.....	4
II.1. Modo Determinístico.....	4
II.1.1. Intemperismo	5
II.1.2. Cálculo da Espessura	10
II.2. Modo Probabilístico	11
III. CARACTERÍSTICAS DA SIMULAÇÃO.....	13
IV. FORÇANTES.....	14
IV.1. Variabilidade Ambiental.....	17
V. RESULTADOS	18
V.1. Modo Probabilístico	19
V.1.1. Vazamento de 8m ³	19
V.1.2. Vazamento de 200m ³	22
V.1.3. Blow-out	26
V.2. Modo Determinístico.....	35
V.3. Balanços de Massa (ou Processos do Intemperismo)	40
VI. CONCLUSÃO	40
VII. BIBLIOGRAFIA.....	40

I. INTRODUÇÃO

O presente relatório descreve os resultados obtidos na modelagem numérica do transporte de óleo no mar para um cenário acidental de vazamento no Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, costa sudeste do litoral brasileiro. O local do vazamento é o poço Waimea de coordenadas 23° 28' 29,30" S e 41° 25' 38,64" W.

Para contextualizar a questão, a metodologia aplicada para a realização das simulações, os modelos numéricos e os dados físicos usados serão também descritos.

II. METODOLOGIA

As simulações numéricas apresentadas nesse estudo foram feitas com o STROLL, modelo desenvolvido pela PROOCEANO para estudos de transporte de contaminantes no mar. O STROLL é um modelo lagrangeano capaz de simular o transporte advectivo-turbulento em até 3 dimensões além dos processos de intemperismo e a perda de massa de diversos tipos de contaminantes.

O STROLL possui dois modos de operação: determinístico e probabilístico.

A modelagem determinística consiste em estudar o comportamento do contaminante em um determinado cenário ambiental, apresentando instantâneos deste comportamento em tempos definidos pelo usuário.

Cabe à simulação probabilística, averiguar o comportamento do contaminante sob a influência de uma extensa combinação de cenários ambientais e determinar a probabilidade de presença e o tempo mínimo de chegada do mesmo em cada região do domínio do modelo.

Uma breve descrição destes modos, bem como dos processos de intemperismo será apresentada a seguir.

II.1. Modo Determinístico

A emissão de óleo no mar é representada pela inserção de um número de elementos n_e a cada intervalo de tempo Δt na região fonte. Considerando uma vazão Q m³/s, o volume inicialmente associado a cada elemento será:

$$q_{e,t=0} = \frac{Q\Delta t}{n_e} \quad (II-1)$$

O transporte advectivo de cada elemento é dado através do cálculo de sua posição p_e a cada passo de tempo. Com isso, a posição do elemento e no instante t é dada por:

$$p_{e,t+1} = p_{e,t} + \Delta t \frac{dp_e}{dt} + \frac{\Delta t^2}{2} \frac{d^2 p_e}{dt^2} \quad (II-2)$$

Onde:

$$\frac{dp_{i,e}}{dt} = \vec{u}_i \quad \text{é a velocidade e} \quad (11-3)$$

$$\frac{d^2 p_{i,e}}{dt^2} = \frac{d\vec{u}_i}{dt} = \frac{\partial \vec{u}_i}{\partial t} + \vec{u}_i \frac{\partial \vec{u}_i}{\partial x_i} \quad \text{a aceleração} \quad (11-4)$$

Para $i = 1, 2$. A velocidade \vec{u}_i (u e v) é obtida através de interpolação bi-linear no espaço e linear no tempo, dos dados fornecidos pelo modelo hidrodinâmico e pelo campo de vento, cuja contribuição, nesse caso, é de 1,5% de sua intensidade.

A aceleração é obtida através da derivação no tempo dos valores de velocidade interpolados. Os valores de velocidade utilizados são fornecidos por um modelo hidrodinâmico externo.

A difusão turbulenta do material é simulada através de modelos de passos aleatórios (*random walk models*), cuja idéia central consiste em adicionar um desvio de velocidade aleatório \vec{u}'_i às velocidades advectivas (Csanady, 1972).

11.1.1. Intemperismo

O STROLL simula os principais processos de intemperismo que ocorrem no óleo quando este é derramado no mar: espalhamento, evaporação, emulsificação e dispersão, e as consequentes mudanças nas propriedades físicas, como a densidade e a viscosidade.

11.1.1.1. Viscosidade e Densidade do Contaminante

A variação temporal da densidade do óleo ($\rho_o(t)$) é calculada de forma indireta, em função do conteúdo de água (Wc) presente na mistura e da fração de óleo evaporada ($frac_{evap}$), que são calculadas a cada passo de tempo do modelo, segundo a formulação apresentada à seguir:

$$\rho_o(t) = Wc * \rho_{\acute{a}gua} + (1 - Wc) \rho_0 [1 - c_1 (T - T_{\acute{a}gua}) (1 - c_2 frac_{evap})] \quad (11-5)$$

onde ρ_o é a densidade do óleo, ρ_0 é a densidade inicial do óleo, $\rho_{\acute{a}gua}$ a densidade da água, T e $T_{\acute{a}gua}$ a temperatura do óleo e da água, respectivamente, $frac_{evap}$ a fração de óleo evaporada, e c_1 e c_2 as constantes empíricas específicas para cada tipo de óleo.

A viscosidade do constituinte μ varia ao longo de sua trajetória, sendo parametrizada por Mackay *et al.* (1983) *apud* Lehr *et al.* (2002).

$$\mu = \mu_0 \cdot \exp \left[\left(C_{evap} \frac{frac_{evap}}{1 - C_{emul2}} + C_{temp} \left(\frac{T_{\acute{a}gua} - T}{T_{\acute{a}gua} T} \right) \right) \right] \quad (11-6)$$

onde μ_0 é a viscosidade inicial do constituinte, C_{evap} é a constante de evaporação e igual a 5000 K (NOAA, 2000), C_{temp} uma constante empírica adimensional que depende do tipo de óleo, podendo variar entre 1 e 10. Para as constantes adimensionais C_{emul1} e C_{emul2} , NOAA(2000) sugere-se valores de 2,5 e 0,65, respectivamente.

11.1.1.2. Espalhamento

Admitindo que a fase inicial do espalhamento (gravitacional-inercial) de uma mancha de óleo é muito curta, o STROLL parte da fase gravitacional-viscosa para calcular o espalhamento, assumindo que quando a espessura da mancha decresce até um determinado valor, o espalhamento termina. Assim o raio R_0 da área inicial é calculado por:

$$R_0 = \frac{K_2^2}{K_1} \left(\frac{V_0^5 g \Delta}{\mu_{\acute{a}gua}} \right)^{\frac{1}{12}} \quad (11-7)$$

onde K_1 e K_2 , recomendado por Flores *et al* (1999) *apud* Soto (2004), são iguais a 0,57 e 0,725, respectivamente, V_0 o volume inicial do óleo derramado, $\mu_{\acute{a}gua}$ a viscosidade da água e Δ a diferença relativa de densidade da água e do óleo:

$$\Delta = \frac{\rho_{\acute{a}gua} - \rho_{\acute{o}leo}}{\rho_{\acute{o}leo}} \quad (11-8)$$

11.1.1.3. Evaporação

O STROLL utiliza o modelo de evaporação proposto por Jones (1997), o qual se baseia na relação de Mackay & Matsugu (1973), porém considerando o óleo como sendo uma mistura de componentes. Essa abordagem é também conhecida com modelo de Pseudo-Componentes, onde a taxa de evaporação pode ser obtida por:

$$\frac{dV_j}{dt} = \frac{K_j A \bar{V}_j \chi_j P_j}{R T} \quad (11-9)$$

onde j varia de acordo com o número de pseudo-componentes, K_j é o coeficiente de transferência de massa do pseudo-componente; A é a área da mancha; \bar{V}_j é o volume molar do pseudo-componente; χ_j é a fração molar do componente; P_j é a pressão de vapor do pseudo-componente; R é a constante universal dos gases e T é a temperatura.

A fração molar de cada pseudo-componente muda com o tempo e é constituída pela razão entre o número de moles do pseudo-componente, que é obtido dividindo-se o seu volume por seu volume molar, e a soma do número de moles total da mistura.

O volume molar de cada pseudo-componente é obtido através de uma correlação de dados de pontos de ebulição e volumes molares de uma série de alcanos com números de carbonos variando entre 3 e 20 (C3 e C20), expressa por:

$$\bar{V}_j = 7 \times 10^{-5} - (2,102 \times 10^{-7} BP_j) + [1 \times 10^{-9} (BP_j)^2] \quad (II-10)$$

onde BP_j é o ponto de ebulição de cada componente.

A pressão de vapor de cada pseudo-componente na temperatura ambiente é obtida através de seus pontos de ebulição, utilizando-se a Equação de Antoine, segundo Lyman *et al.* (1990) *apud* Jones (1997):

$$\ln \frac{P_j}{P^0} = \frac{\Delta S_j \cdot (BP_j - C)^2}{R \cdot BP_j} \cdot \left[\frac{1}{BP_j - C} - \frac{1}{T - C} \right] \quad (II-11)$$

onde P^0 é a pressão atmosférica; $\Delta S_j = 8,75 + 1,987 \log(BP_j)$, é a variação na entropia do componente oriunda da vaporização e $C = (0,19 \cdot BP_j) - 18$ é uma constante determinada a partir do ponto de ebulição do pseudo-componente.

O coeficiente de transferência de massa é calculado segundo Mackay & Matsugu (1973):

$$K_i = 0,0048 \cdot U^{7/9} \cdot Z^{-1/9} \cdot Sc_j^{-2/3} \quad (II-12)$$

onde U é a velocidade do vento; Z é o comprimento da mancha na direção do vento; e Sc é o número de Schmidt do pseudo-componente.

O número de Schmidt expressa a razão entre a viscosidade cinemática do ar com a difusividade molecular do pseudo-componente.

Para obter-se a difusividade molecular do pseudo-componente usa-se a seguinte aproximação, segundo (Thibodeaux, 1979 *apud* Jones, 1997):

$$D_j = D_{\text{água}} \sqrt{\frac{MW_{\text{água}}}{MW_j}} \quad (II-13)$$

onde $D_{\text{água}}$ é a difusividade molecular da água; e $MW_{\text{água}}$ é o peso molecular da água.

O peso molecular de cada pseudo-componente é calculado através de uma correlação também obtida de uma série de alcanos C3 a C20:

$$MW_j = 0,04132 - \left(1,985 \cdot 10^{-4} \cdot BP_j \right) + \left[9,494 \cdot 10^{-7} \cdot (BP_j)^2 \right] \quad (\text{II-14})$$

Reescrevendo a equação em termos de volume e volume molar, as taxas de evaporação de cada pseudo-componente pode ser obtida por:

$$\frac{dV_j}{dt} = - \frac{A \cdot K_j \cdot P_j \cdot V_j}{R \cdot T \cdot \sum_{k=1}^{nc} \frac{V_j}{V_k}} \quad (\text{II-15})$$

II.1.1.4. Emulsificação

A incorporação de água no óleo é descrita no modelo por uma equação proposta por Mackay *et al* (1980):

$$\frac{dfrac_{wv}}{dt} = K_w (1 + W)^2 \left(1 - \frac{frac_{wv}}{frac_{wv}^{final}} \right) \quad (\text{II-16})$$

em que $frac_{wv}$ é a fração volumétrica de água incorporada na emulsão, $frac_{wv}^{final}$ é a fração final de água incorporada e K_w uma constante empírica e igual a $1,6 \times 10^{-6}$.

II.1.1.5. Dispersão

A formulação utilizada para o cálculo do entranhamento no STROLL é baseada no modelo desenvolvido por Delvigne & Sweeney (1988) a partir de estudos sobre o entranhamento ou dispersão superficial e subsuperficial de óleo, realizados em laboratório.

Nesse modelo, a taxa de entranhamento por unidade de área é expressa por:

$$Q(d_0) = C_0 \cdot D_{ba}^{0,57} \cdot S_{cov} \cdot F_{wc} \cdot d_0^{0,7} \cdot \Delta d \quad (\text{II-17})$$

onde $Q(d_0)$ é a taxa de entranhamento por unidade de área no intervalo Δd de diâmetros de gotículas de óleo em torno de d_0 $\left(d_0 - \frac{1}{2} \Delta d \text{ a } d_0 + \frac{1}{2} \Delta d \right)$; d_0 é o diâmetro da gotícula de óleo; C_0 é uma constante de dispersão, relacionada a viscosidade do óleo; D_{ba}

é a energia de dissipação por ondas; S_{COV} é o fator de cobertura da superfície do mar por óleo ($0 \leq S_{COV} \leq 1$), sendo $S_{COV} = 1$ para manchas contínuas; F_{wc} é a fração da superfície do mar suscetível a quebra de ondas (encapelamento) por unidade de tempo.

A energia de dissipação por ondas por unidade de área é calculada por:

$$D_{ba} = 0,0034 \cdot \rho_w \cdot g \left[\frac{HS}{\sqrt{2}} \right]^2 \quad (11-18)$$

onde HS é a altura significativa de ondas, podendo ser calculada por: $HS = \frac{0,243 \cdot U^2}{g}$,

sendo U a velocidade do vento; ρ_w é a densidade da água; e g a aceleração da gravidade.

Para estimar a fração da superfície do mar suscetível ao encapelamento, o modelo utiliza a formulação proposta por Monahan (1971), Ding & Farmer (1994) *apud* Lehr & Simecek-Beatty (2000) e Lehr & Simecek-Beatty (2000), sendo:

$$\begin{aligned} F_{wc} &= \frac{0,025 \cdot (U - 3)}{T_M} \rightarrow 0 \leq U \leq 4; \\ F_{wc} &= \frac{0,01 \cdot U + 0,01}{T_M} \rightarrow U > 4, \end{aligned} \quad (11-19)$$

onde T_M é a constante de tempo de Monahan (1971), sendo $T_M = 3,85$ para água do mar.

Segundo Lehr & Simecek-Beatty (2000), variações nos diâmetros das gotículas de óleo acarretam em diferentes flutuabilidades para as mesmas, causando estratificação na concentração de óleo na coluna de água. Ainda segundo esses autores, a partir 50 a 100 μ de diâmetro, as partículas apresentam flutuabilidade neutra, sendo o movimento dominado pela dispersão horizontal e vertical sobre os efeitos de flutuabilidade.

O intervalo de diâmetro das gotículas de óleo utilizado no STROLL, assim como o modelo ADIOS2 (Lehr, 2002) varia entre $d_{\min} = 0\mu$ a $d_{\max} = 70\mu$.

A constante de dispersão C_0 , segundo Delvigne & Hulsen (1994) pode ser obtida através da seguinte relação:

$$\begin{aligned} C_0 &= 1827 \ v^{0,0658} \rightarrow v < 125 \ cSt; \\ C_0 &= 1827 \ v^{1,1951} \rightarrow v > 125 \ cSt; \end{aligned} \quad (11-20)$$

onde ν é a viscosidade do óleo.

Integrando a taxa de entranhamento por unidade de área no intervalo Δd de diâmetros de gotículas de óleo ($Q(d_0)$) no intervalo de gotículas d_{\min} a d_{\max} , obtêm-se:

$$Q = \frac{d_{\max}}{1,7} \cdot C_0 \cdot D_{ba}^{0,57} \cdot F_{wc} \cdot S_{cov} \quad (11-21)$$

sendo Q a taxa de entranhamento total, por unidade de área.

Para estimar a penetração máxima do óleo na coluna de água o modelo utiliza a equação proposta por Delvigne & Sweeney (1988):

$$Z_i = (1,5 \pm 0,35) \cdot H_b \quad (11-22)$$

onde H_b é a altura de quebra da onda.

11.1.2. Cálculo da Espessura

A espessura do óleo associada a cada elemento é dada por:

$$esp_e(x, y, t) = \frac{q_e}{2\pi[\sigma(t)]^2} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x - p_{x,e}(t)}{\sigma(t)}\right)^2 + \left(\frac{y - p_{y,e}(t)}{\sigma(t)}\right)^2\right]\right\} \quad (11-23)$$

onde q_e é o volume de cada elemento, x e y as coordenadas do ponto de grade, $p_{x,e}$ e $p_{y,e}$ a posição do centro de massa de cada elemento e $\sigma_i^2(t)$ é a variância da distribuição, relacionado à turbulência local através da equação:

$$D = \frac{1}{2} \frac{d\sigma^2(t)}{dt} \quad (11-24)$$

sendo D a difusividade turbulenta isotrópica horizontalmente, parametrizada à partir do escoamento, obtido do modelo hidrodinâmico, segundo a formulação de Smagorinsky:

$$D = C \Delta x \Delta y \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 \right]^{1/2} \quad (11-25)$$

onde Δx e Δy são os intervalos de discretização da grade e C é a constante de Smagorinsky, cujos valores para o oceano variam da ordem de 0,1 a 0,2 (Oey *et al.*, 1985a e b).

A espessura resultante de todo o descarte é então obtida através da soma da contribuição de cada elemento:

$$ESP(x, y, t) = \sum_{e=1}^{n_e} esp_e(x, y, t) \quad (11-26)$$

11.2. Modo Probabilístico

Na abordagem probabilística utilizada são realizadas diversas simulações determinísticas, considerando-se todos os processos citados nos itens anteriores, em diferentes cenários meteo-oceanográficos. Este módulo do STROLL tem por objetivo verificar a probabilidade de presença do constituinte na região estudada, bem como o tempo de chegada, a fim de determinar um cenário crítico para o descarte de contaminantes na região.

De acordo com os cenários meteo-oceanográficos locais, as séries temporais de vento e corrente são repartidas em 4 séries sazonais – correntes-verão, correntes-inverno, ventos-verão, ventos-inverno – conforme apresentado no esquema da Figura 1.

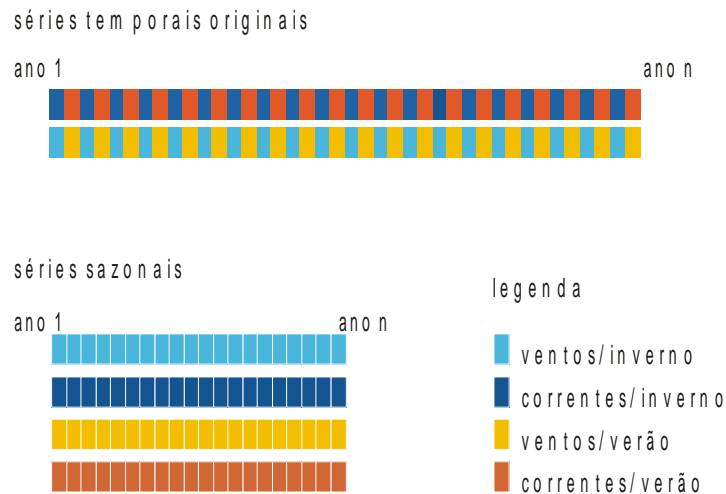


Figura 1: Representação esquemática da separação sazonal dos dados para a modelagem probabilística.

As séries de vento e corrente são então combinadas em diversos arranjos de forma a contemplar de forma ideal os possíveis cenários ambientais (Figura 2).

exemplo: probabilístico de verão

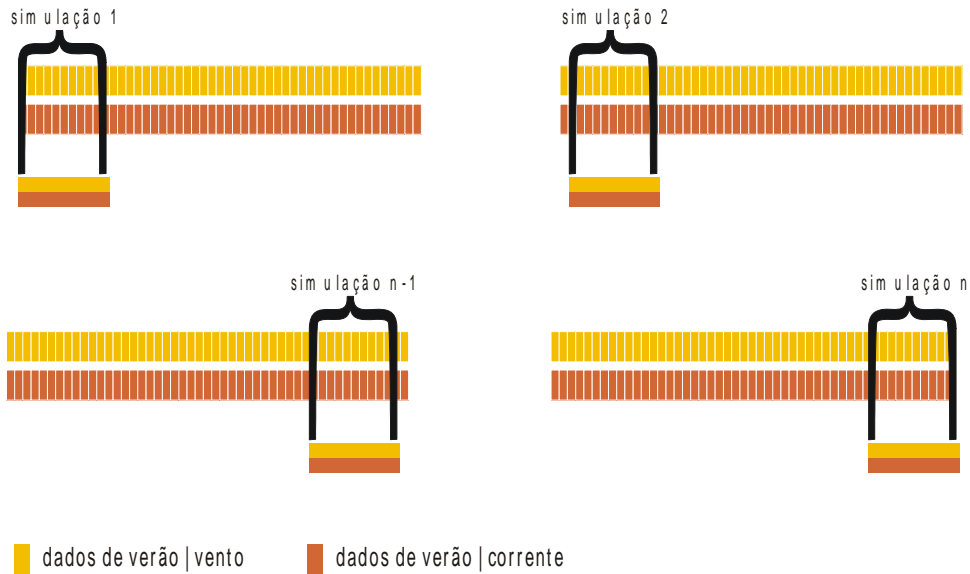


Figura 2: Representação esquemática da combinação dos dados de vento e corrente para a simulação probabilística.

Cada combinação de vento e corrente irá determinar um comportamento para o vazamento. O modelo identifica, em cada combinação, os pontos de grade onde a espessura da mancha do constituinte esteve acima do limiar determinado (Figura 3 , b e c):

$$I(x, y) = 1 \quad \text{se } ESP(x, y, t) \geq \text{lim}$$

$$I(x, y) = 0 \quad \text{se } ESP(x, y, t) < \text{lim}$$

A probabilidade de presença do poluente será dada pela normalização do número de vezes em que a mancha esteve acima do limiar em cada ponto de grade pelo número de combinações n_{com} realizadas (Figura 3 d):

$$P(x, y) = \sum_{i_{sim}=1}^{n_{com}} \left(\frac{I(x, y)}{n_{com}} \right) \quad (11-27)$$

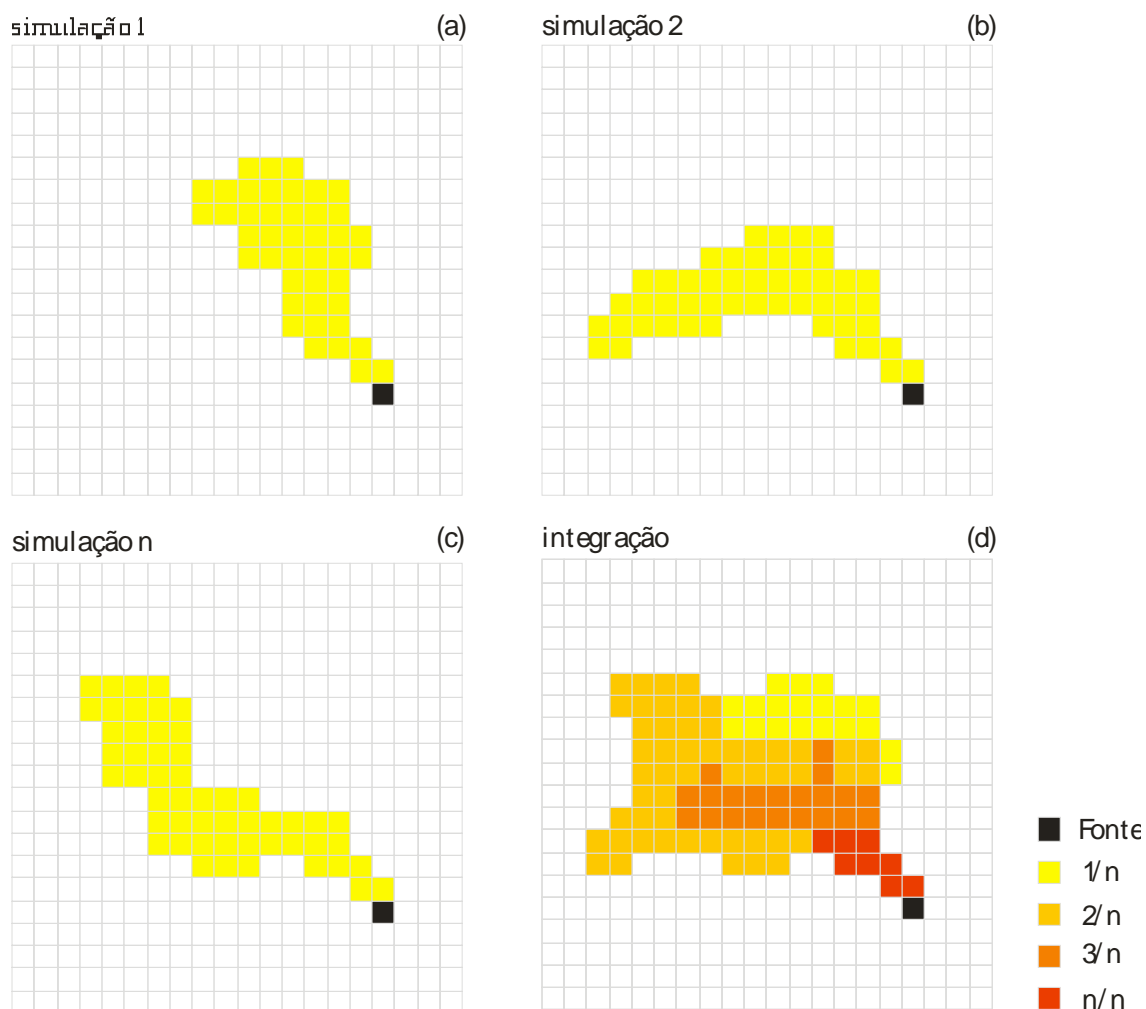


Figura 3: Representação esquemática do cálculo da probabilidade de presença de constituinte no STROLL.

Além da probabilidade de presença do constituinte, o módulo probabilístico do STROLL fornece também os tempos de chegada da mancha em cada ponto de grade do domínio, em cada simulação.

III. CARACTERÍSTICAS DA SIMULAÇÃO

As simulações foram realizadas considerando um evento de *blow-out* com vazamento contínuo por 30 dias (720 horas) em 2 (dois) cenários sazonais, verão e inverno. Após a disponibilização do óleo na água, o comportamento de sua deriva foi acompanhado por 30 dias. Portanto ao final das simulações foram totalizados 60 dias (1440 horas).

Além da simulação de *blow-out*, na qual é considerado o volume de pior caso (15.120 m³), foram ainda realizadas simulações para vazamentos de pequeno e médio volume, 8 m³ e 200 m³, respectivamente. Nesses casos as simulações duraram 30 dias.

Em todas as simulações considerou-se como critério de existência de óleo espessuras maiores ou iguais ao limiar de 3×10^{-7} metros (limiar de detecção) (ELPN/IBAMA, 2002).

A seguir, nas Tabelas 1 e 2, serão apresentadas as características do óleo e do vazamento.

Tabela 1: Características do óleo utilizadas na simulação.

Parâmetro	Valor	Unidade	Temperatura
API	17		
Densidade	0,9575	g/cm ³	15° C
Viscosidade	24	Cp	68° C

Tabela 2: Local do Vazamento.

Longitude	41° 25' 38,64" W
Latitude	23° 28' 29,30" S

A seguir serão apresentadas as forçantes utilizadas durante a simulação probabilística.

IV. FORÇANTES

Os dados de vento utilizados são provenientes das reanálises do NCEP – *National Centers for Environmental Prediction* – (Kalnay *et al.*, 1996). Essa base consiste em uma série de dados meteorológicos, com aproximadamente 1,8° de resolução espacial na região do estudo. Os dados disponíveis no NCEP cobrem todo o globo e estão disponíveis gratuitamente na internet (<http://www.ncep.noaa.gov>).

Para este estudo foram tratados 59 anos de dados (1948 a 2006) com uma frequência temporal de 6 horas (4 dados por dia).

A seguir, são apresentadas as rosas dos ventos, elaboradas para o período analisado, na região do Bloco BM-C-41 (Figura 4 e Figura 5).

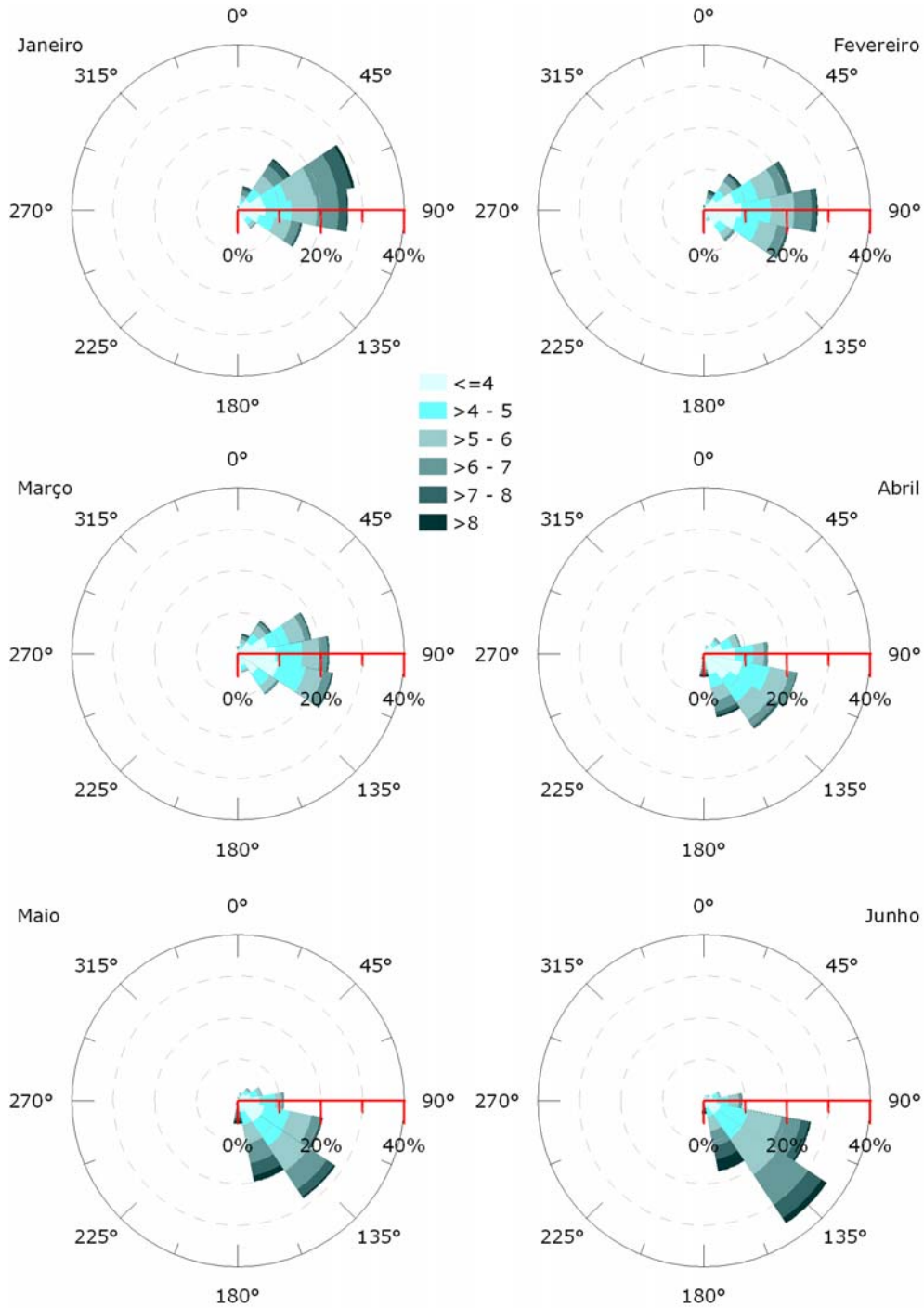


Figura 4: Rosa dos ventos para o período entre janeiro e junho na região do Bloco BM-C-41.

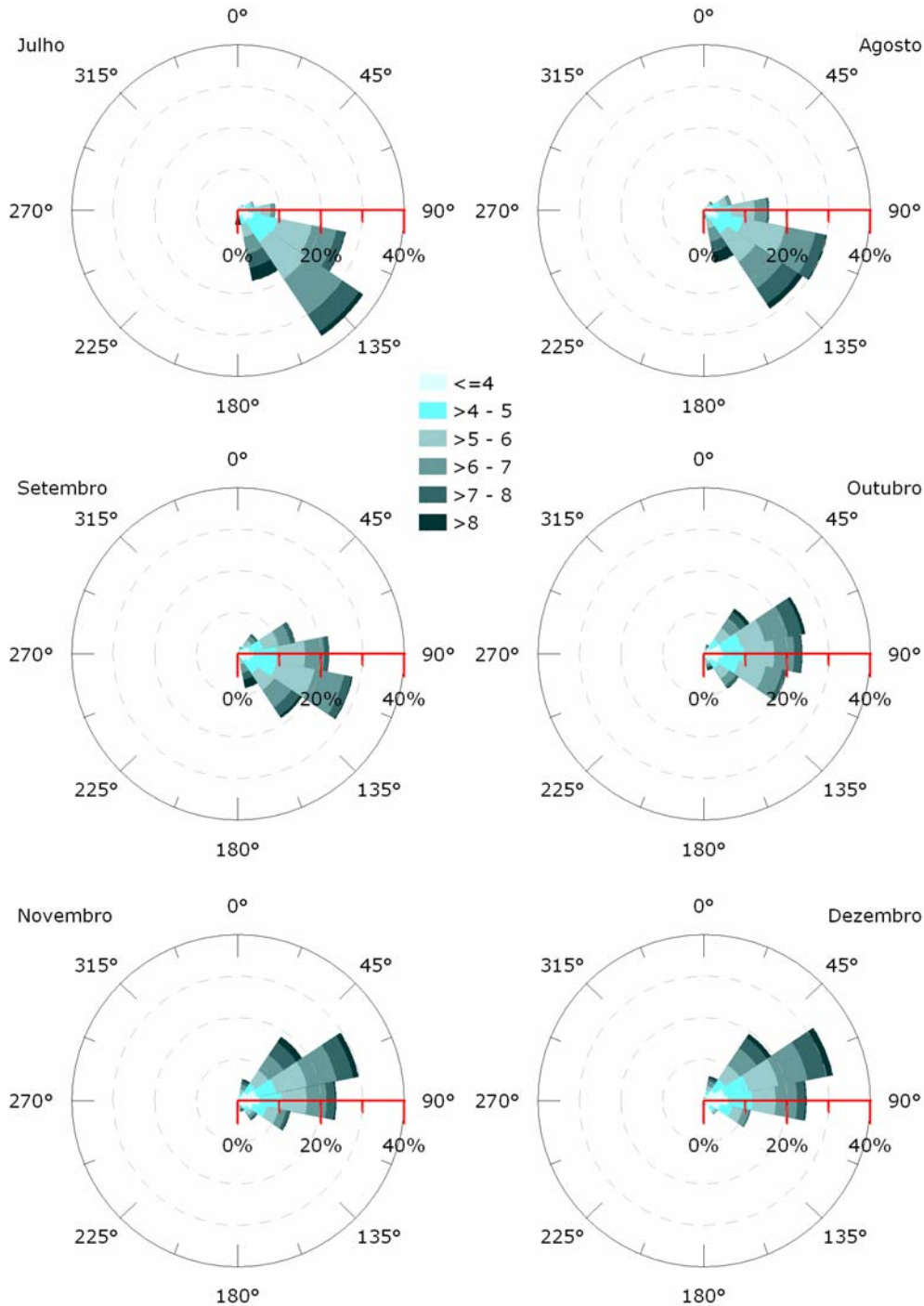


Figura 5: Rosa dos ventos para o período entre julho e dezembro na região do Bloco BM-C-41.

A análise mensal dos dados de vento possibilitou a caracterização de dois períodos bem marcados, com condições de inverno e verão, como pode ser observado na Figura 4 e na Figura 5.

O período que se estende de outubro a fevereiro é marcado por condições de verão. Neste período são observados ventos intensos e freqüentes do octante NE-E, com os meses de novembro e dezembro apresentando maiores persistências dos ventos de NE. Também são observados ventos no quadrante E-SE, porém esses são menos intensos e freqüentes.

O período caracterizado como sendo de inverno estende-se de março a setembro e apresenta ventos intensos e freqüentes com direções E-SE, destacando-se os meses de junho e julho como os ventos mais intensos.

Os dados de correntes utilizados foram obtidos da base de dados da PROOCEANO. Nesse estudo foi analisada uma série temporal de 1 ano de dados, sendo utilizado na modelagem um período de 6 meses, característicos para cada situação sazonal.

Uma descrição detalhada dos mesmos encontra-se no Relatório de Modelagem Hidrodinâmica, onde é descrita a dinâmica oceânica dessa região.

IV.1. Variabilidade Ambiental

Com o objetivo de avaliar a variabilidade das escalas temporais transientes presentes nos dados de ventos analisados e utilizados nesse trabalho, foi realizada uma análise de zeros ascendentes (*zero-up-crossing*). Essa análise consiste na identificação dos momentos ao longo de toda série onde as componentes do vento trocam de sinal (de negativo para positivo). Os resultados podem ser observados na Figura 6.

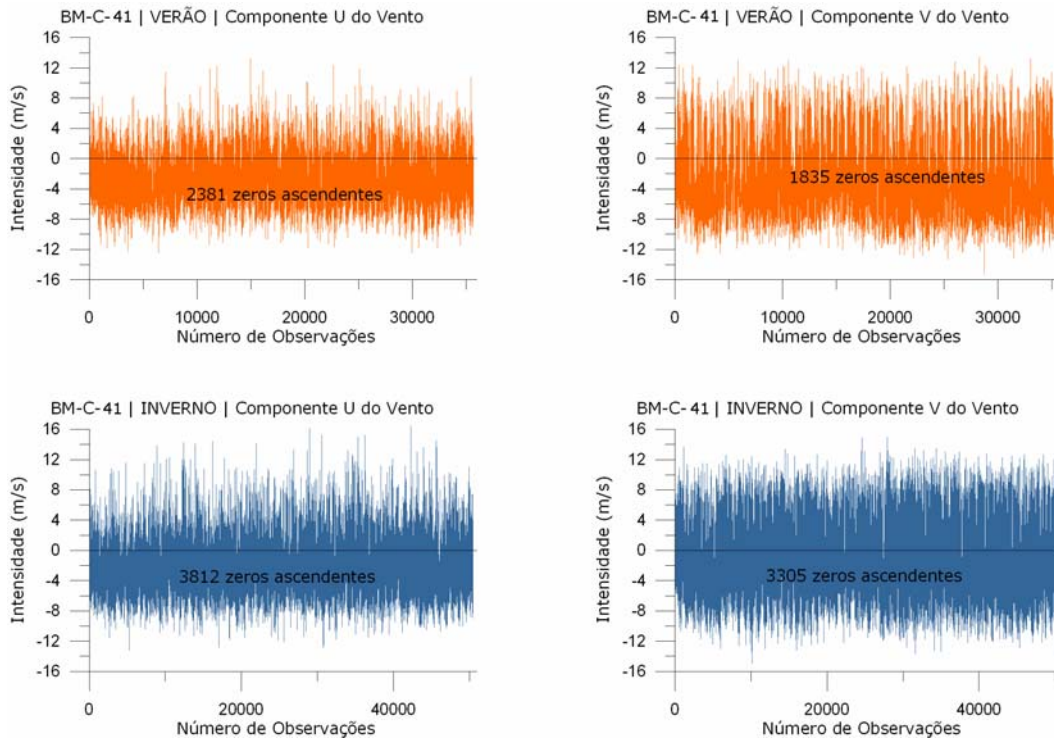


Figura 6: Séries temporais das componentes “u” e “v”, do vento, para a região do bloco BM-C-41, com o número de zeros ascendentes presentes nas séries. Fonte: Reanálise NCEP.

Podemos observar que no cenário de inverno o número de zeros ascendentes, nas duas componentes “u” e “v”, foram maiores que no cenário de verão.

Considerando que o intervalo entre as medições é de 6 horas, chegamos a uma escala mínima de variabilidade significativa de aproximadamente 5 dias para o cenário de verão e 4 dias para o cenário de inverno.

Assim, para uma correta representação dessa variabilidade na modelagem probabilística de óleo, seguindo a metodologia proposta por Elliott (2004), o número mínimo de simulações aconselhável, para o cenário de verão seria de 2.381 simulações e para o cenário de inverno 3.812 simulações.

Para garantir a compreensão da variabilidade presente, de forma conservadora foram realizadas 3.800 simulações para cada período (inverno e verão).

V. RESULTADOS

A seguir serão apresentados os mapas de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada para as simulações de vazamentos de 8, 200 e 15.120 m³, para os cenários de verão e inverno.

Para a obtenção destes resultados foram realizadas 3.800 diferentes simulações para cada cenário (verão e inverno) nos diferentes volumes de vazamento 8, 200 e 15.120 m³, totalizando 22.800 possíveis cenários ambientais de vazamento.

O cenário de pior caso, para ser simulado no modo determinístico, será definido através da análise dos resultados sazonais, sendo escolhida situação onde o óleo atinja a costa no menor período de tempo possível após o início do vazamento.

O intemperismo do óleo será apresentado ao final do estudo, através de gráficos que apresentam o balanço de massa do constituinte, ao longo da simulação.

V.1. Modo Probabilístico

V.1.1. Vazamento de 8m³

V.1.1.1. Verão

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo para o vazamento de 8 m³ no cenário de verão é apresentado na Figura 7, enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 8.

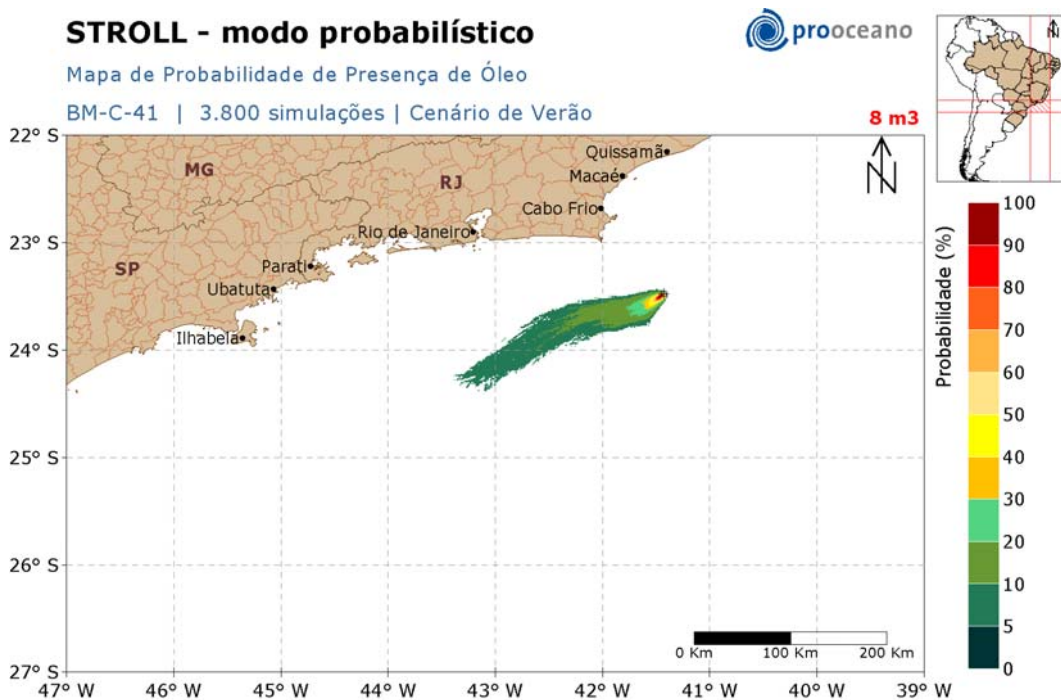


Figura 7: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 8 m³, no cenário de verão.

Neste cenário a deriva do óleo ocorre para sudoeste do poço.

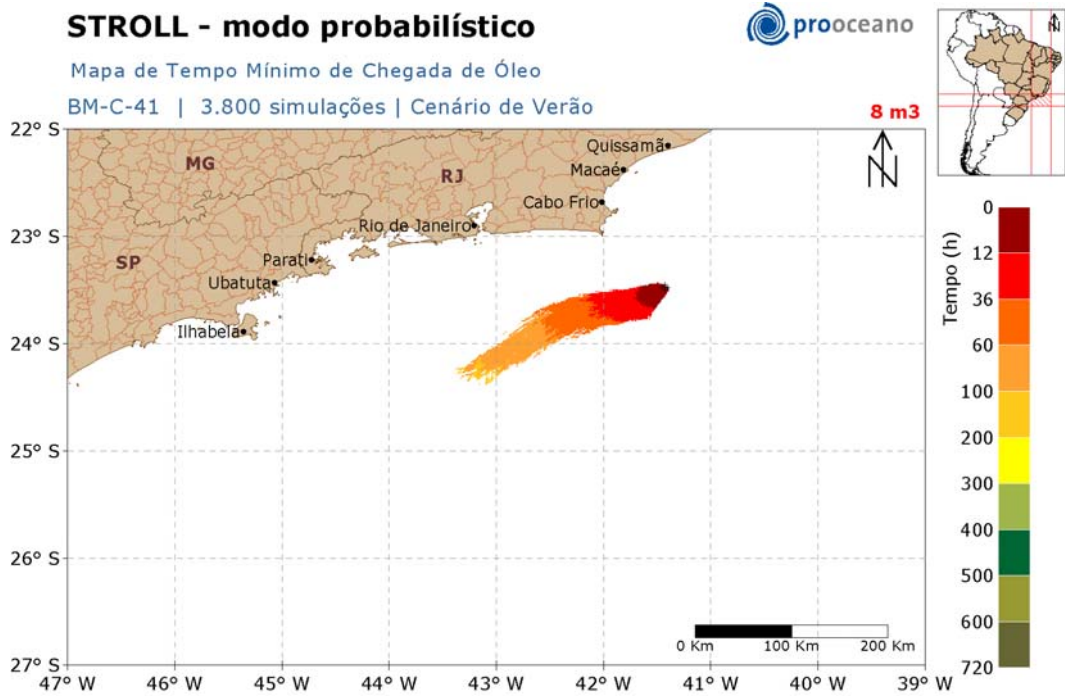


Figura 8: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo, para vazamento de 8 m³, no cenário de verão.

Observa-se que após 60-100 horas do início do vazamento todo o Mapa de Probabilidade é atingido.

V.1.1.2. Inverno

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo para o vazamento de 8 m³ no cenário de inverno encontra-se na Figura 9 enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 10.

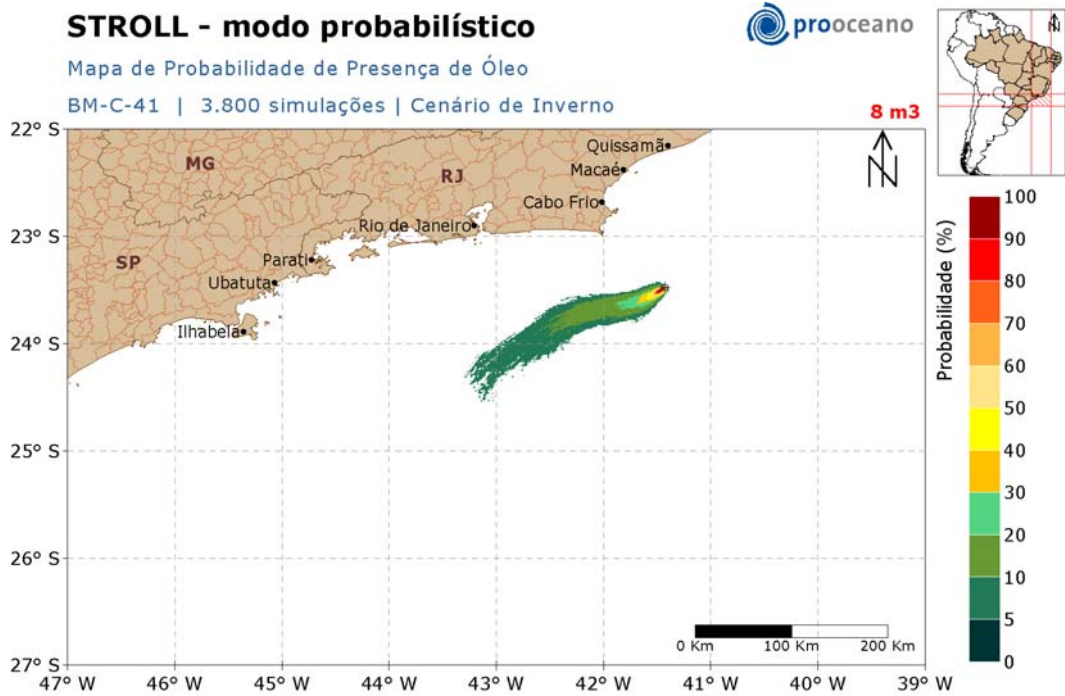


Figura 9: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 8 m³, no cenário de inverno.

No cenário de inverno, ocorre o mesmo que no cenário de verão, a deriva do óleo é para sudoeste do poço.

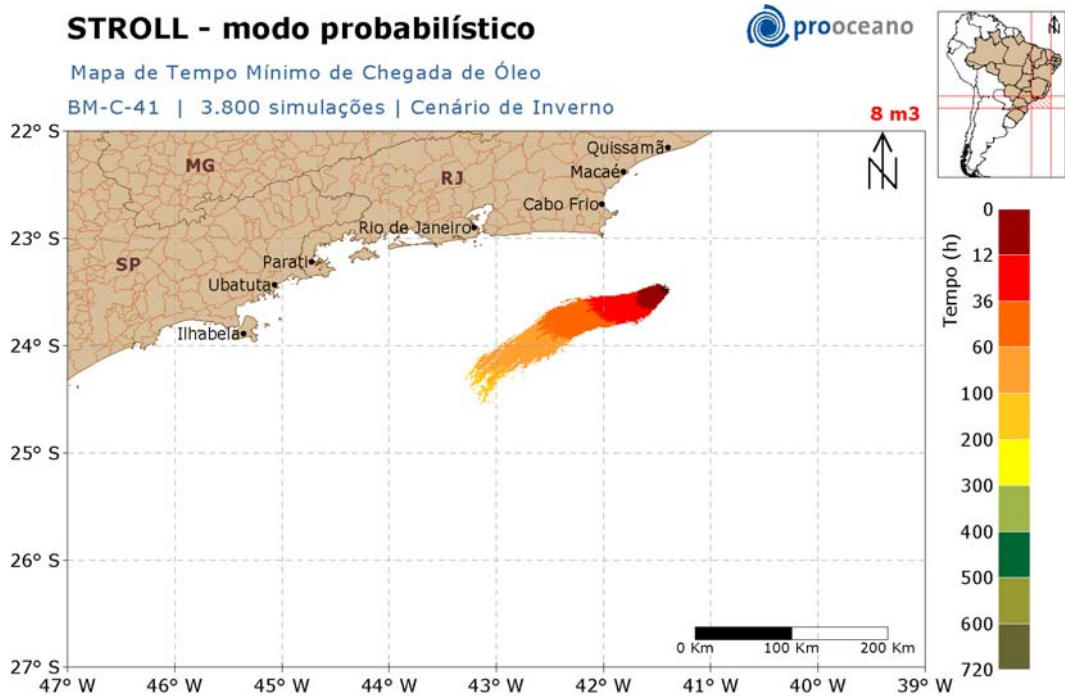


Figura 10: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo, para vazamento de 8 m³, no cenário de inverno.

Observa-se que o Mapa de Probabilidade é atingido em sua totalidade em 60-100 horas após o início do vazamento.

V.1.2. Vazamento de 200m³

V.1.2.1. Verão

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo para o vazamento de médio porte (200 m³), no cenário de verão, encontra-se na Figura 11 enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 12.

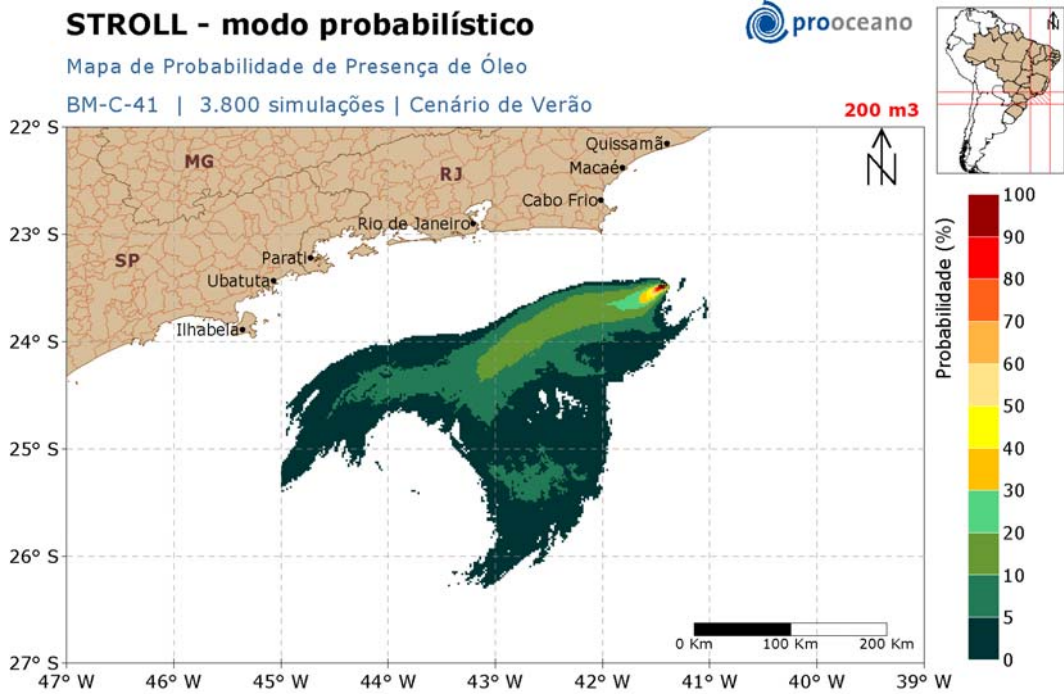


Figura 11: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 200 m³, no cenário de verão.

Podemos observar no Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo, que a deriva do óleo é preferencial para sul/sudoeste do poço.

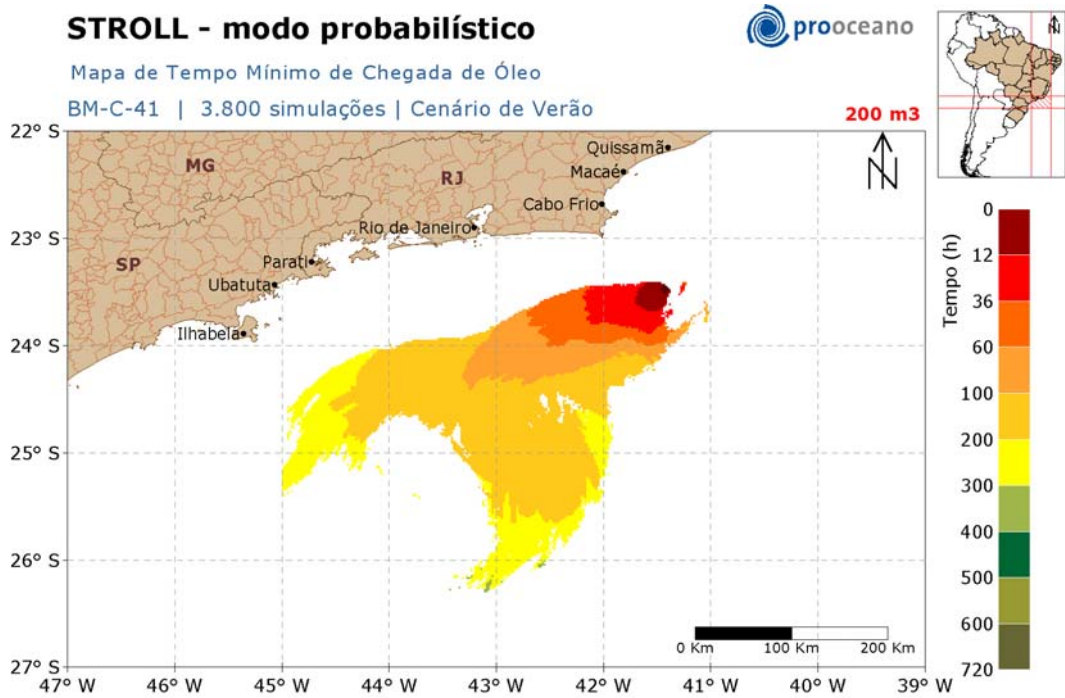


Figura 12: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo, para vazamento de 200 m³, no cenário de verão.

Observa-se na Figura 12 que o Mapa de Tempo Mínimo de Chegada do Óleo foi atingido em sua totalidade de 200-300 horas após o início da simulação.

V.1.2.2. Inverno

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo para o vazamento de 200 m³ no cenário de inverno encontra-se na Figura 13 enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 14.

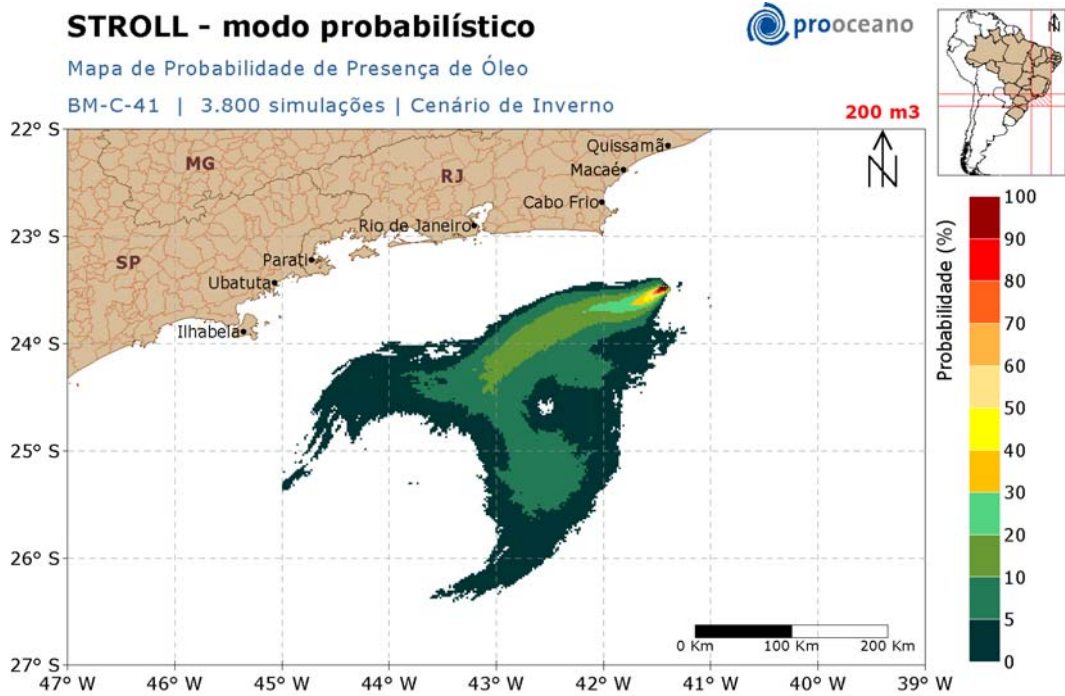


Figura 13: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 200 m³, no cenário de inverno.

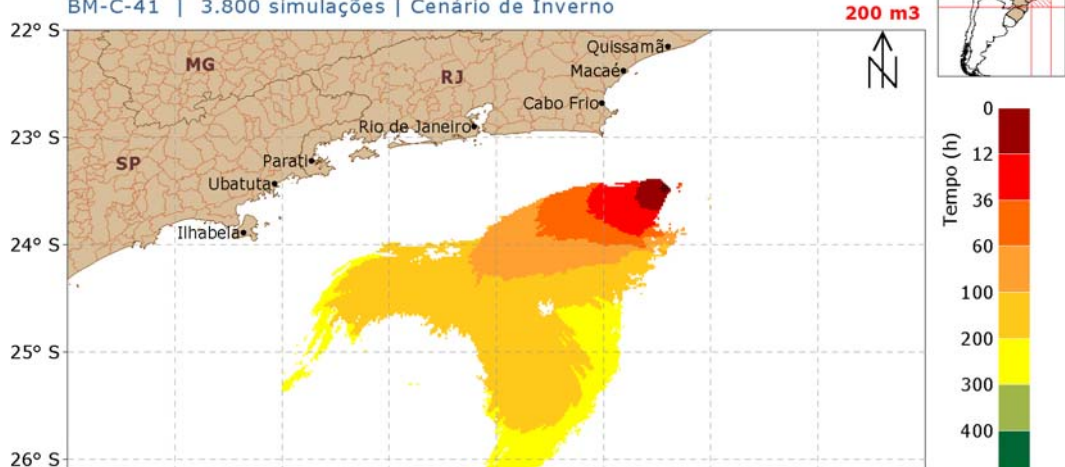
Nesse cenário a deriva do óleo também foi preferencial para sul/sudoeste do poço.

STROLL - modo probabilístico



Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo

BM-C-41 | 3.800 simulações | Cenário de Inverno



STROLL - modo probabilístico



Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-41 | Cenário de Verão

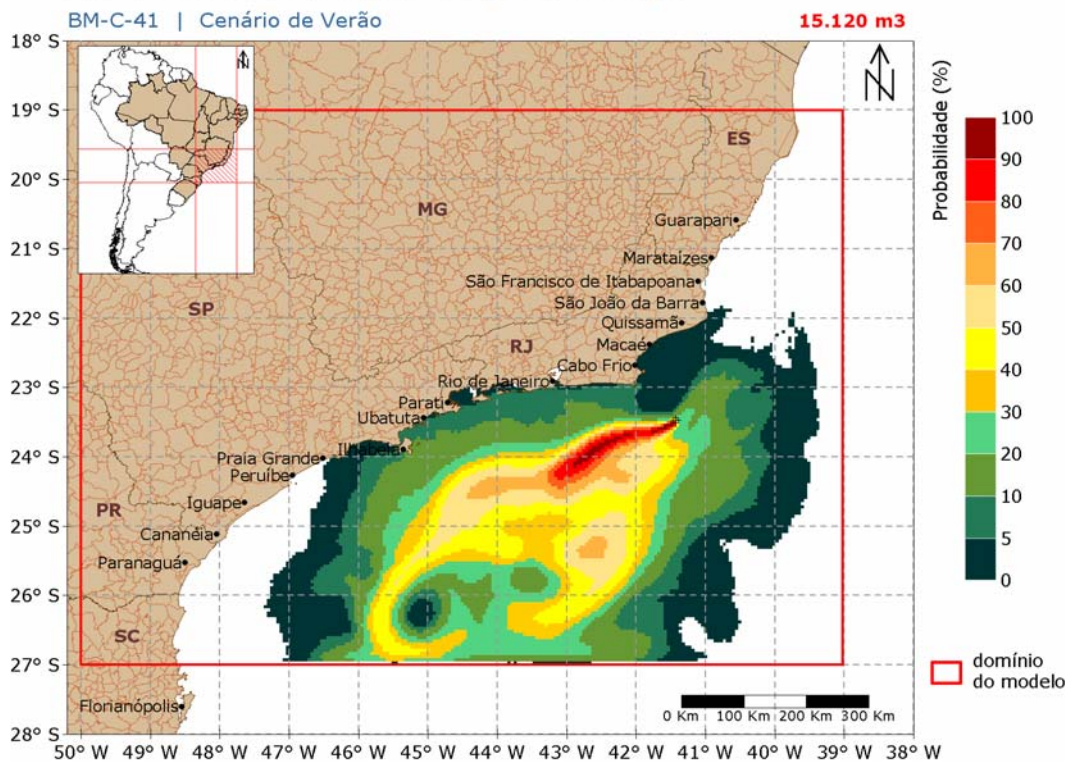


Figura 15 a Figura 18.

STROLL - modo probabilístico



Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-41 | Cenário de Verão

15.120 m3

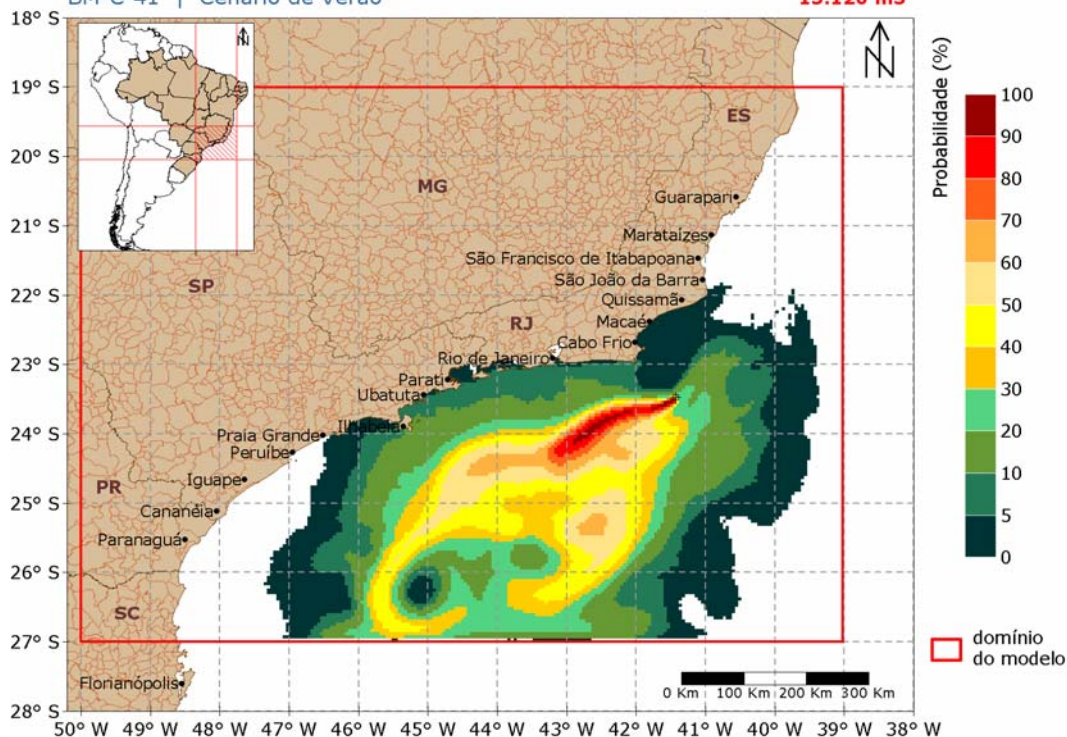


Figura 15: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de verão.

A deriva do óleo ocorre preferencialmente para sul/sudoeste do poço, porém derivas para norte/nordeste também são observadas. O toque na costa ocorre de São João da Barra no Estado do Rio de Janeiro até Praia Grande no Estado de São Paulo.

STROLL - modo probabilístico



Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-41 | Cenário de Verão

15.120 m³

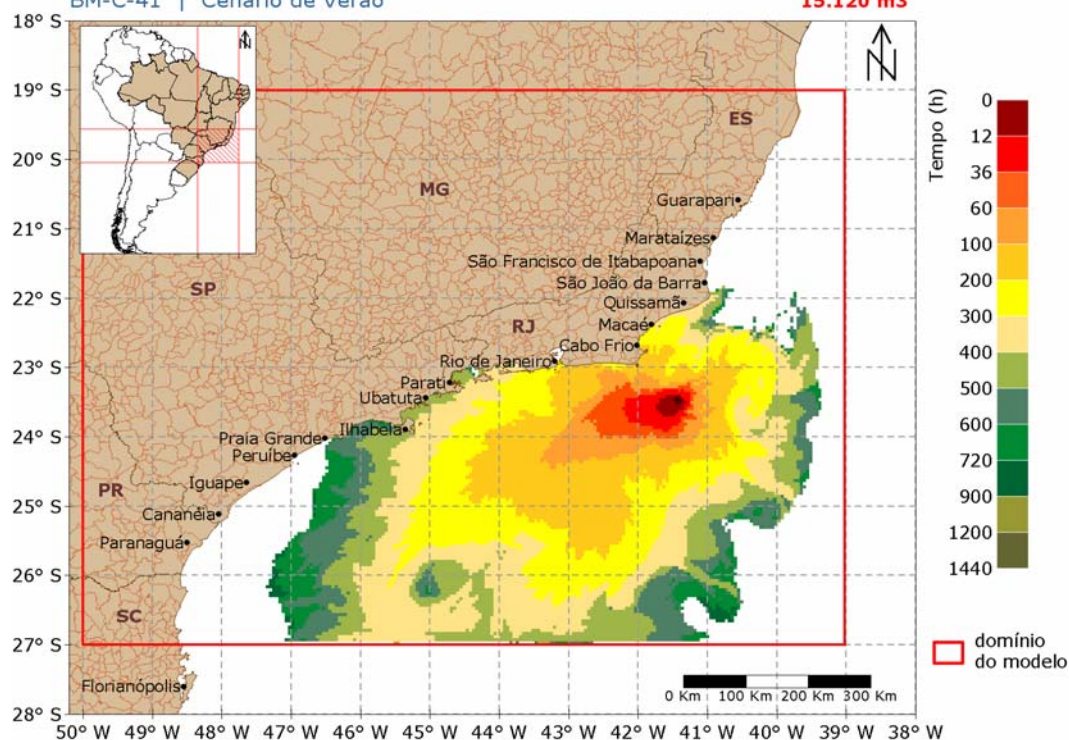


Figura 16: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de verão.

O tempo mínimo de toque na costa, nesse cenário, ocorre entre 100-200 horas no Estado do Rio de Janeiro. O Estado de São Paulo é atingido em 300-400 horas após o início do vazamento.

STROLL - modo probabilístico



Volume Máximo de Óleo na Costa

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-41 | Cenário de Verão

15.120 m3

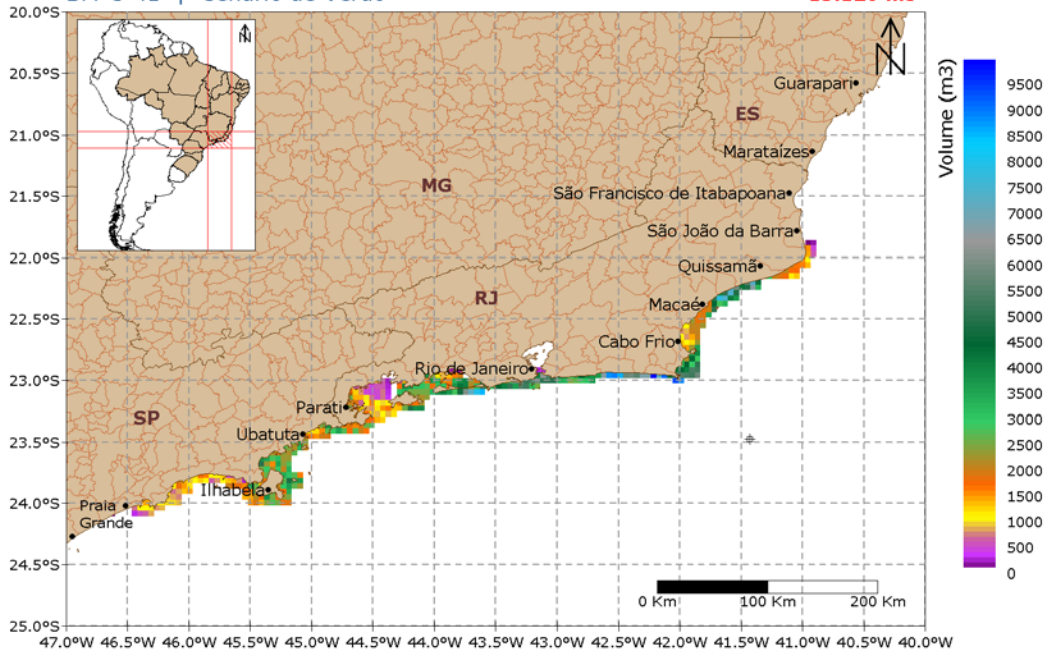


Figura 17: Volume máximo de óleo na costa, após as simulações de 60 dias no cenário de verão.

Ao analisarmos o volume máximo de óleo que atinge a costa, observamos que as áreas que tiveram o menor tempo mínimo de chegada de óleo na costa apresentaram os maiores volumes, essas áreas estão situadas nas proximidades de Arraial do Cabo - RJ.

Para uma melhor análise dos tempos de chegada de óleo na costa, foram gerados histogramas com as frequências de ocorrência das classes de tempo e fração de massa na costa para toda a simulação probabilística (Figura 18). O gráfico de probabilidade com os histogramas de tempo de chegada facilita a análise conjunta dos resultados.

STROLL - Modo Probabilístico

Histogramas de Tempo de Chegada de Óleo

BM-C-41 | Cenário de Verão

15.120 m³

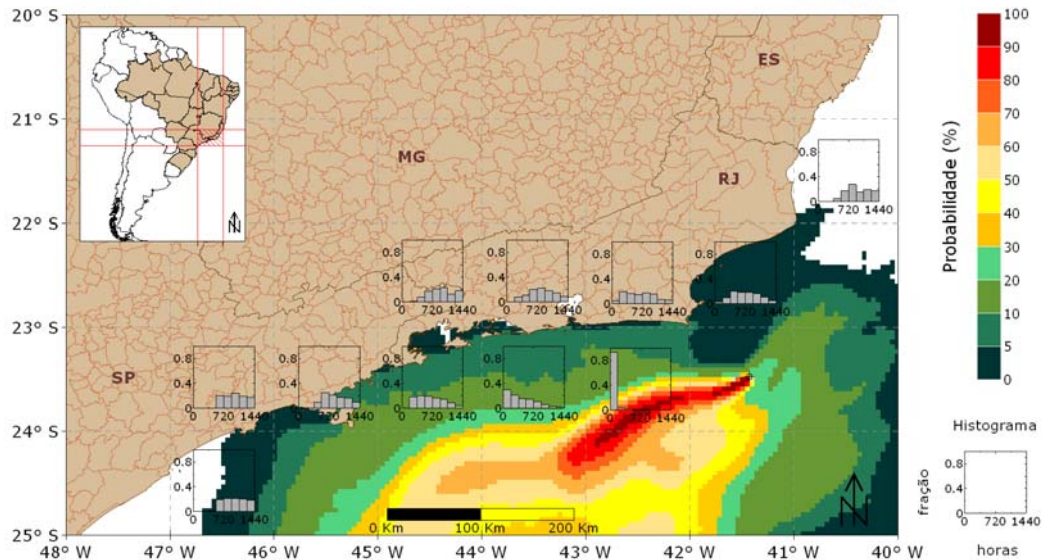


Figura 18: Histogramas de tempo de chegada de óleo próximo à costa no cenário de verão.

Os histogramas de tempo de chegada, no cenário de verão, mostram que nas regiões mais próximas ao local de vazamento os tempos de chegada ocorrem antes da metade da simulação (720h). Seguindo para oeste na costa, os tempos de chegada aumentam progressivamente.

V.1.3.2. Inverno

A seguir, nas Figura 19 a Figura 22, serão apresentados os resultados obtidos no período de inverno para um cenário de *blow-out*, volume vazado de 15.120 m³.

STROLL - modo probabilístico



Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-41 | Cenário de Inverno

15.120 m3

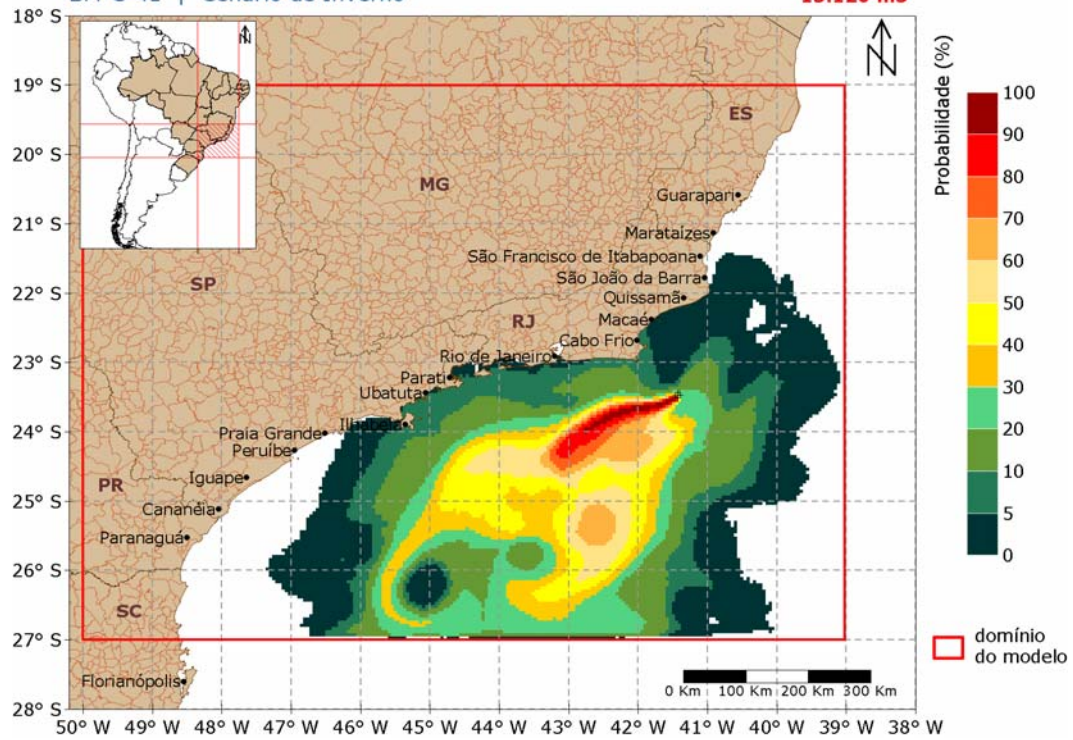


Figura 19: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de inverno.

Nesse cenário a deriva do óleo na direção sudoeste foi menor que o observado no cenário de verão. O toque na costa estende-se de São João da Barra no Estado do Rio de Janeiro até Guarujá no Estado de São Paulo.

STROLL - modo probabilístico

Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-41 | Cenário de Inverno



15.120 m³

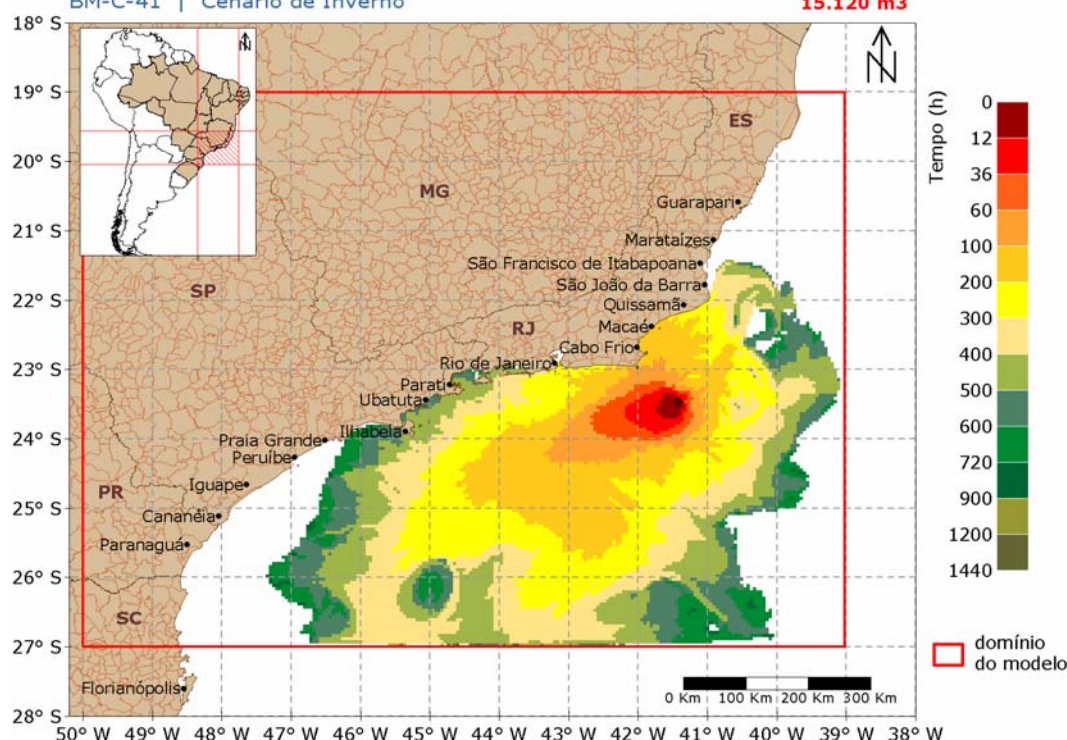


Figura 20: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de óleo, para vazamento de 15.120 m³, no cenário de inverno.

No cenário de Inverno o tempo mínimo de chegada de óleo é menor, 60-100 horas, na região de Arraial do Cabo – RJ. O Estado de São Paulo, entre 400-500 horas, tem probabilidade de apresentar óleo em sua costa.

Observa-se que algumas trajetórias são cortadas na fronteira oeste (canto inferior esquerdo do domínio do modelo) e na fronteira sul. As trajetórias que são cortadas na fronteira sul são irrelevantes para regiões de toque na costa, uma vez que dirigem-se para regiões *off-shore*. As trajetórias que são cortadas na fronteira oeste, por sua vez, poderiam, atingir a região costeira do Estado do Paraná e Santa Catarina.

No entanto é importante ressaltar que a probabilidade de presença de óleo observada nessa região do mapa restringe-se ao intervalo entre 5-0%, em ambos os cenários.

Outro aspecto importante a ser ressaltado é o fato de que o aumento significativo dos domínios espaciais modelados, em função do tempo de deriva do óleo (60 dias), faz com que haja um grande aumento no esforço computacional envolvido na correta solução do modelo. Esse esforço (a saber: memória RAM, tempo computacional e manipulação dos arquivos gerados) aumenta, no mínimo, exponencialmente, com o aumento do tamanho da grade. Em contrapartida, uma redução na resolução espacial, que diminuiria o esforço computacional, faz com que importantes processos, principalmente os que ocorrem próximos ao local de vazamento, não sejam corretamente representados.

Para minimizar esse problema potencial, na escolha do domínio do modelo em questão, foi realizada uma ponderação de perdas e ganhos, em termos de resolução espacial e consequente melhor representação da comportamento do óleo nas regiões adjacentes ao local de vazamento, bem como de sua deriva e seu alcance, após os 60 dias de simulação.

Diante do exposto, acredita-se que embora algumas trajetórias do óleo tenham sido cortadas, o uso do resultado final da modelagem apresentada, como base para tomada de decisões em outros itens do estudo, não é, de forma alguma, comprometido.

STROLL - modo probabilístico



Volume Máximo de Óleo na Costa

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-41 | Cenário de Inverno

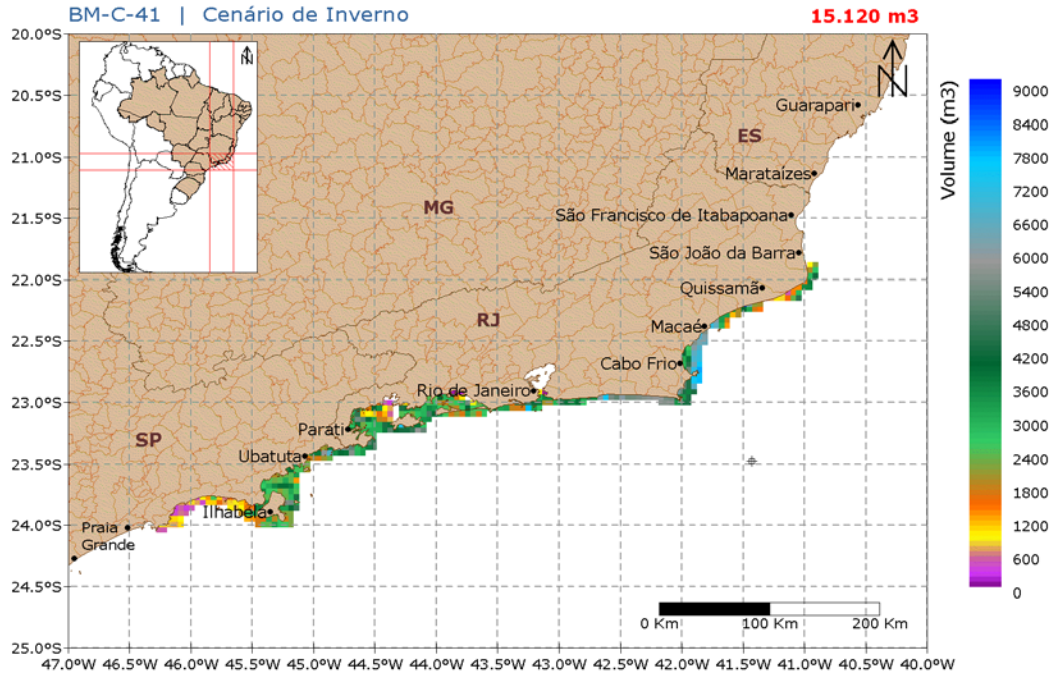


Figura 21: Volume máximo de óleo na costa no cenário de inverno.

Assim como no cenário de verão, neste cenário, os maiores volumes máximos encontram-se nas proximidades de Cabo Frio – RJ.

Para uma melhor análise dos tempos de chegada de óleo na costa, foram gerados histogramas com as frequências de ocorrência das classes de tempo e fração de massa na costa para toda a simulação probabilística (Figura 22).

STROLL - Modo Probabilístico

Histogramas de Tempo de Chegada de Óleo

BM-C-41 | Cenário de Inverno

15.120 m³

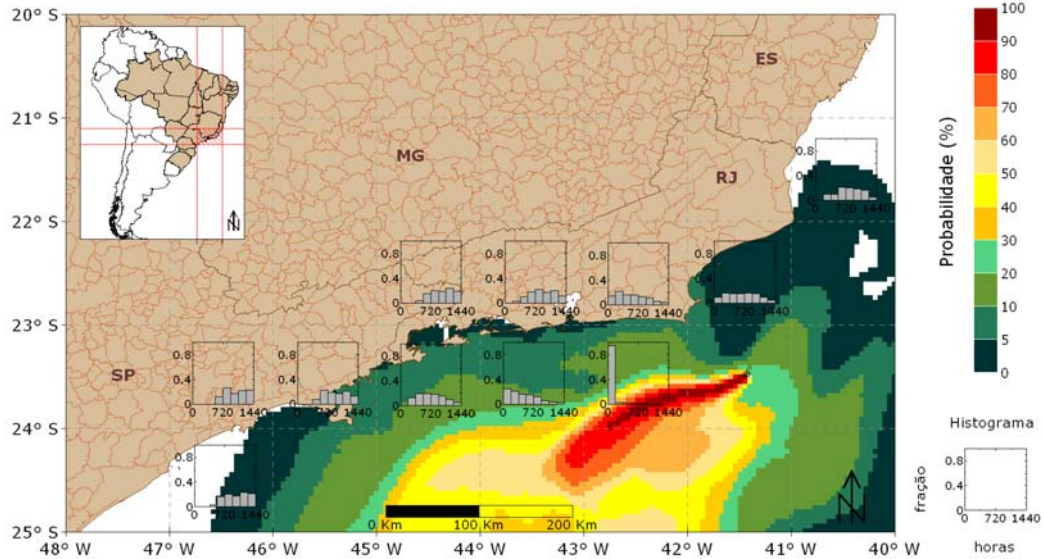


Figura 22: Histogramas de tempo de chegada de óleo próximo à costa no cenário de inverno.

No cenário de inverno observa-se um resultado semelhante ao cenário de verão, com o tempo de chegada aumentando em relação à distância do local de vazamento.

A seguir, na Tabela 3, serão apresentados os volumes máximos, as classes de probabilidade e tempo mínimo de chegada de óleo de cada município com possibilidade de serem atingidos pelo óleo em um evento de *blow-out*.

Tabela 3: Volume Máximo, Probabilidade de presença e Tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de presença de óleo em um evento de *blow-out* nos cenários de verão e inverno.

MUNICÍPIOS	Volume Máximo (m ³)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo de Toque (h)	
	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO
São João da Barra	1520	2024	5-0	5-0	400-500	300-400
Campos dos Goytacazes	1951	2963	5-0	5-0	300-400	200-300
Quissamã	7406	6311	5-0	5-0	300-400	100-200
Carapebus	7400	3574	5-0	5-0	300-400	100-200
Macaé	7750	7105	5-0	5-0	200-300	100-200
Rio das Ostras	2300	5665	5-0	10-5	200-300	100-200
Casimiro de Abreu	1015	4240	5-0	10-5	200-300	100-200
Armação dos Búzios	3942	8011	5-0	10-5	100-200	100-200
Cabo Frio	8585	5445	10-5	10-5	100-200	100-200
Arraial do Cabo	9987	6000	10-5	10-5	100-200	60-100
Araruama	6800	5700	5-0	10-5	200-300	100-200
Saquarema	8987	7621	5-0	10-5	100-200	100-200
Maricá	4415	4584	5-0	10-5	100-200	200-300
Niterói	6358	3681	5-0	5-0	100-200	200-300
Rio de Janeiro	6100	7827	10-5	10-5	200-300	200-300
Itaguaí	1350	3063	5-0	5-0	300-400	400-500
Mangaratiba	3905	4068	5-0	5-0	300-400	400-500
Angra dos Reis	3905	4075	5-0	5-0	300-400	500-600
Ilha Grande (Angra dos Reis)	4790	7378	10-5	10-5	300-400	400-500
Parati	2766	5494	10-5	10-5	300-400	400-500
Ubatuba	3483	6848	10-5	10-5	400-500	400-500
Caraguatatuba	4975	3608	10-5	10-5	400-500	500-600
Ilhabela	3792	5629	20-10	10-5	300-400	400-500
São Sebastião	3788	3766	10-5	10-5	400-500	500-600
Bertioga	1807	867	5-0	5-0	500-600	600-720
Guarujá	873	858	5-0	5-0	500-600	600-720
Santos	1425	-	5-0	-	600-720	-
São Vicente	1425	-	5-0	-	600-720	-
Praia Grande	1086	-	5-0	-	600-720	-

V.2. Modo Determinístico

Com base nos resultados obtidos nas simulações probabilísticas foi identificado o cenário de pior caso para ocorrência de um evento de *blow-out* decorrente da atividade de perfuração no bloco BM-C-41. O cenário que apresentou o menor tempo mínimo de toque na costa foi o de inverno, este ocorre entre 60-100 horas, portanto será apresentada uma trajetória de pior caso ocorrida no cenário de inverno.

Na Figura 23 à Figura 36 são apresentados instantâneos com os resultados da simulação da dispersão de óleo realizada para a situação escolhida. São também mostrados nas figuras os campos de vento e correntes que transportaram o óleo nesse cenário.

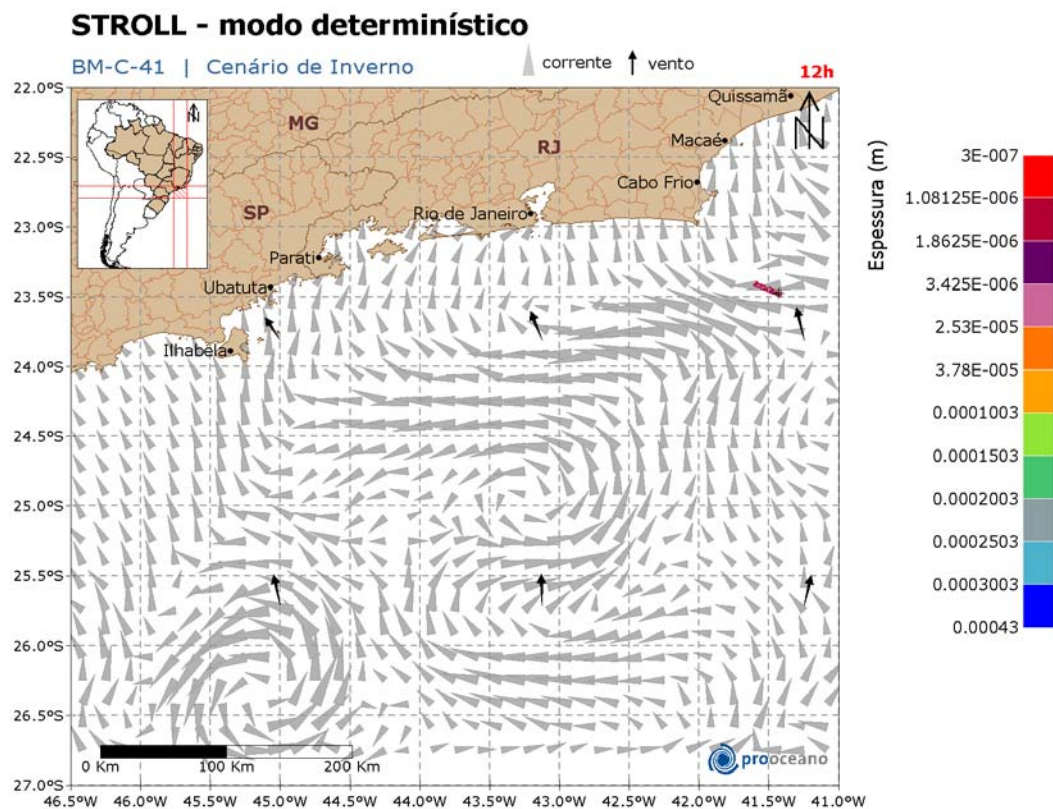


Figura 23: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 12 horas de simulação.

STROLL - modo determinístico

BM-C-41 | Cenário de Inverno

corrente ↑ vento

36h

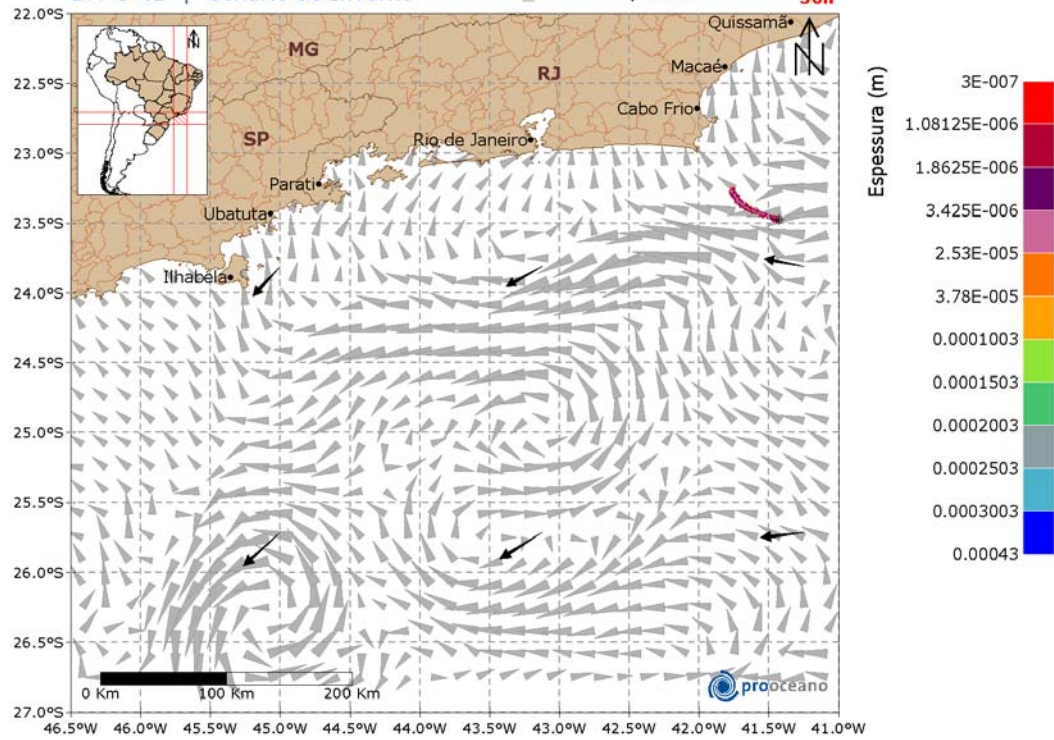


Figura 24: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 36 horas de simulação.

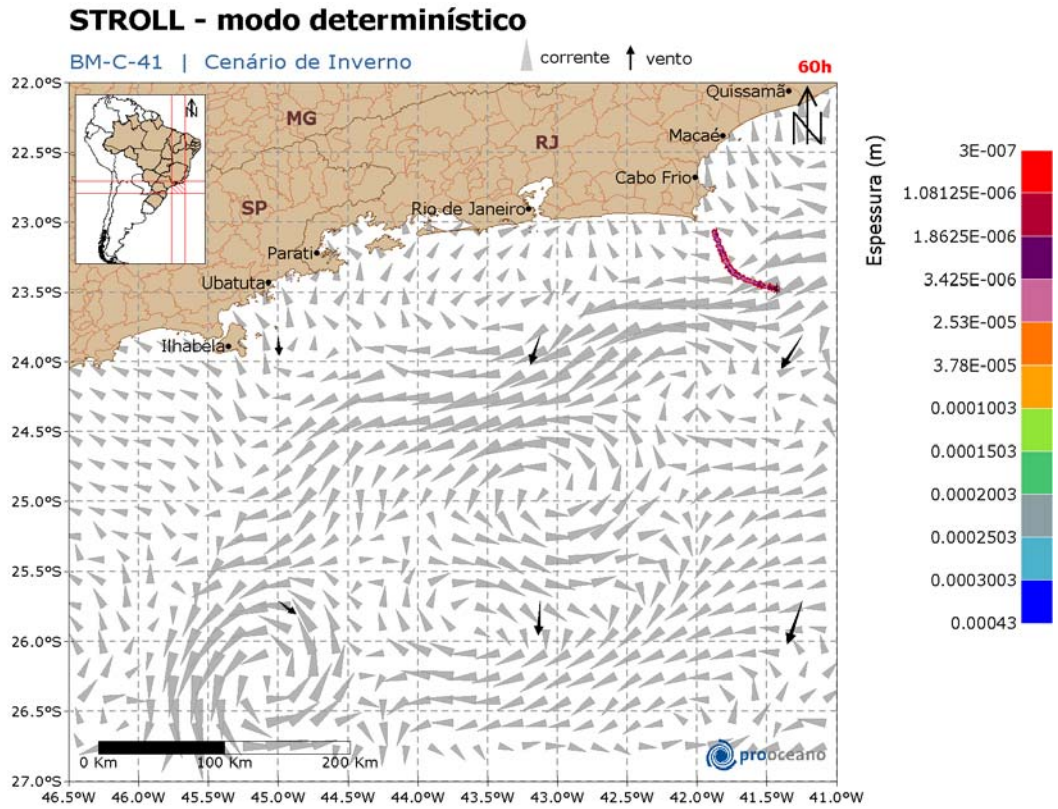


Figura 25: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 60 horas de simulação.

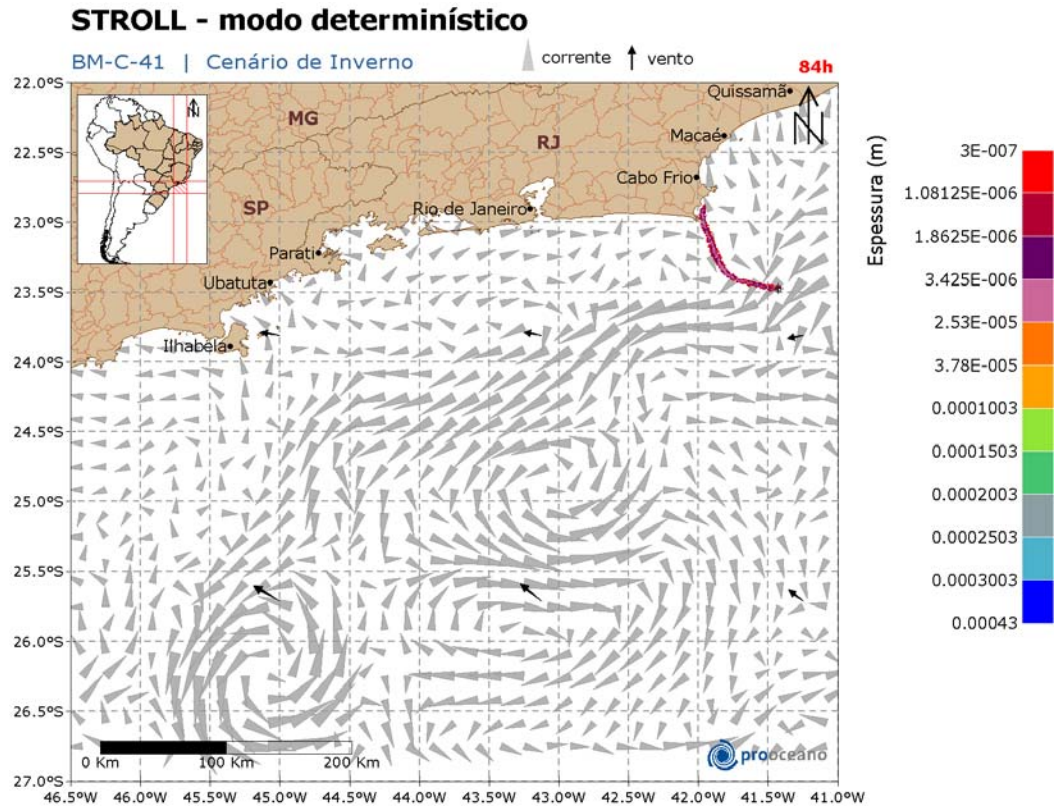


Figura 26: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 84 horas de simulação.

STROLL - modo determinístico

BM-C-41 | Cenário de Inverno

corrente ↑ vento

120h

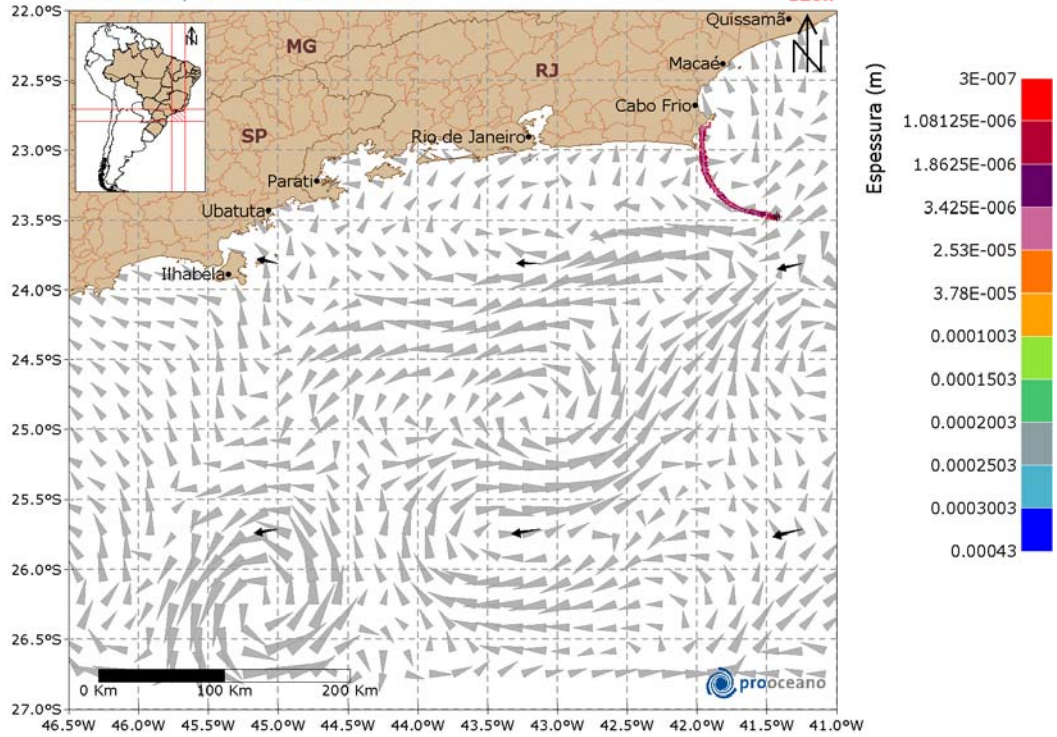


Figura 27: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 120 horas de simulação.

STROLL - modo determinístico

BM-C-41 | Cenário de Inverno

corrente ↑ vento

200h

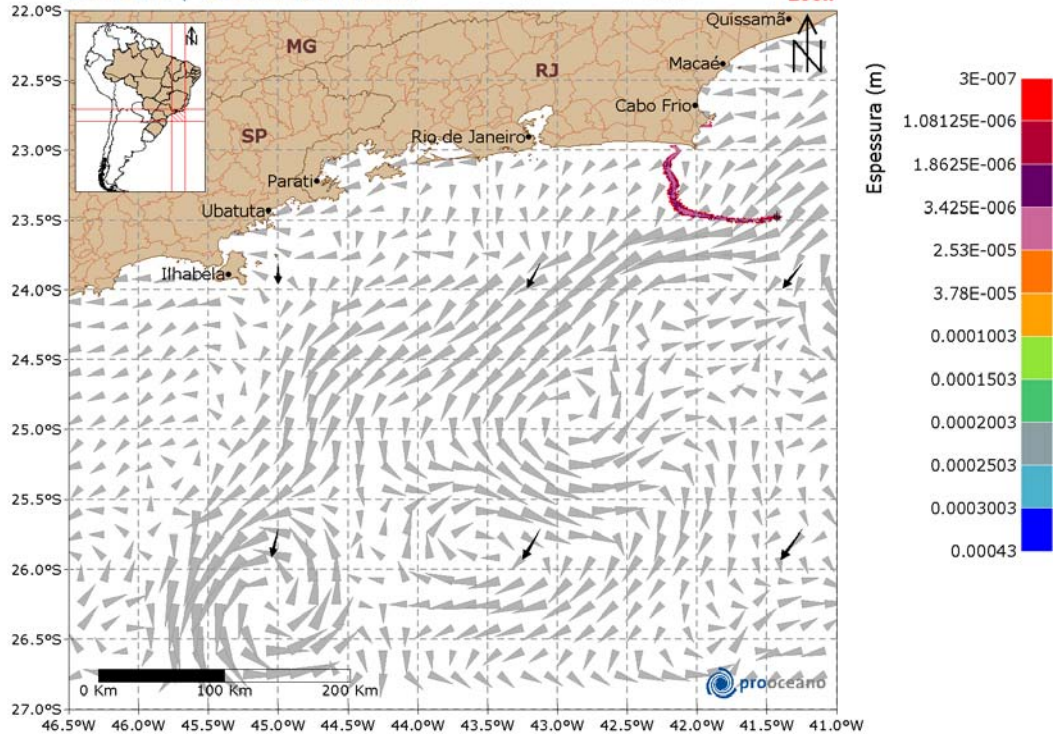


Figura 28: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 200 horas de simulação.

STROLL - modo determinístico

BM-C-41 | Cenário de Inverno

corrente ↑ vento

300h

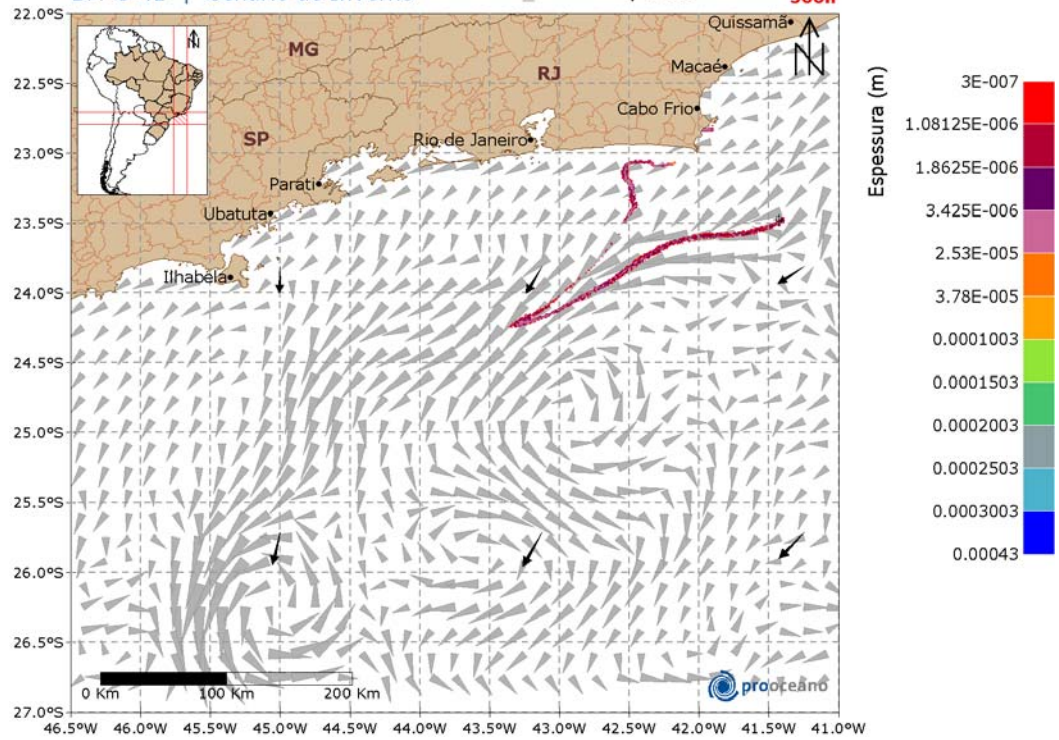


Figura 29: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 300 horas de simulação.

STROLL - modo determinístico

BM-C-41 | Cenário de Inverno

corrente ↑ vento

400h

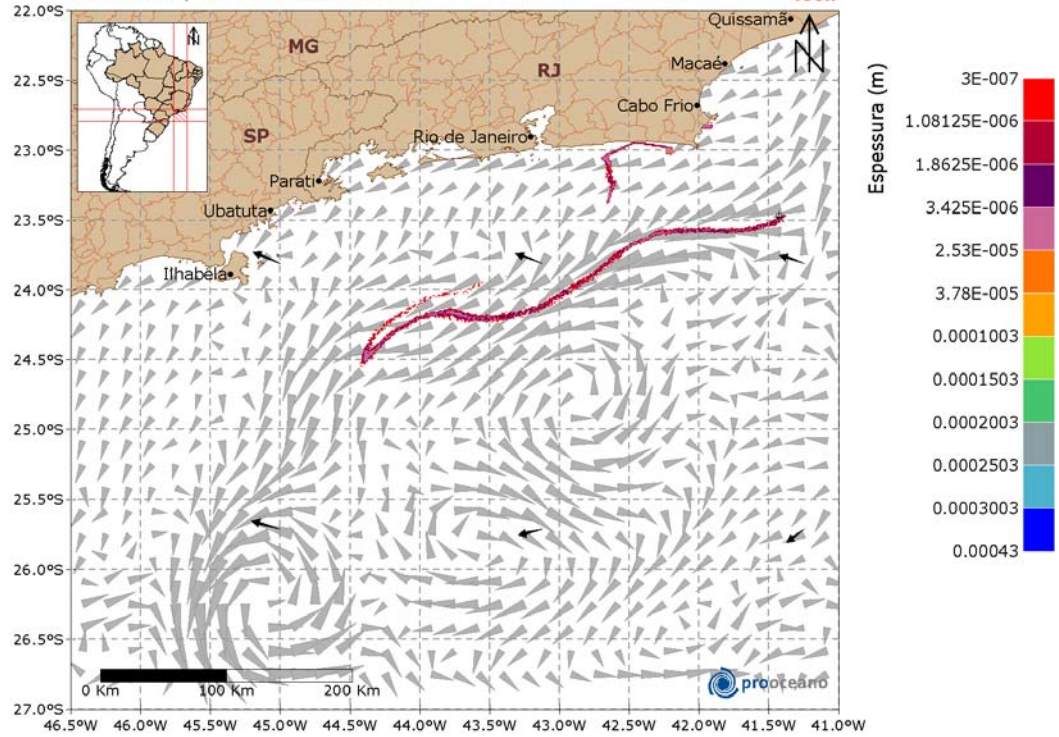


Figura 30: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 400 horas de simulação.

STROLL - modo determinístico

BM-C-41 | Cenário de Inverno

corrente ↑ vento

500h

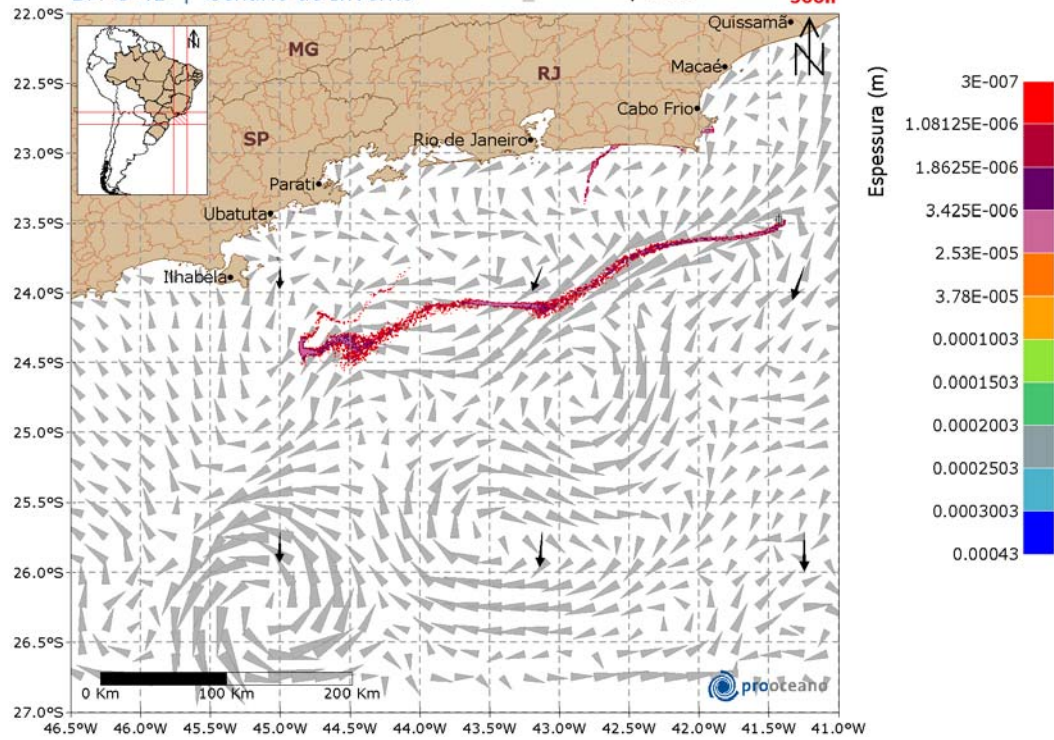


Figura 31: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 500 horas de simulação.

STROLL - modo determinístico

BM-C-41 | Cenário de Inverno

corrente ↑ vento

600h

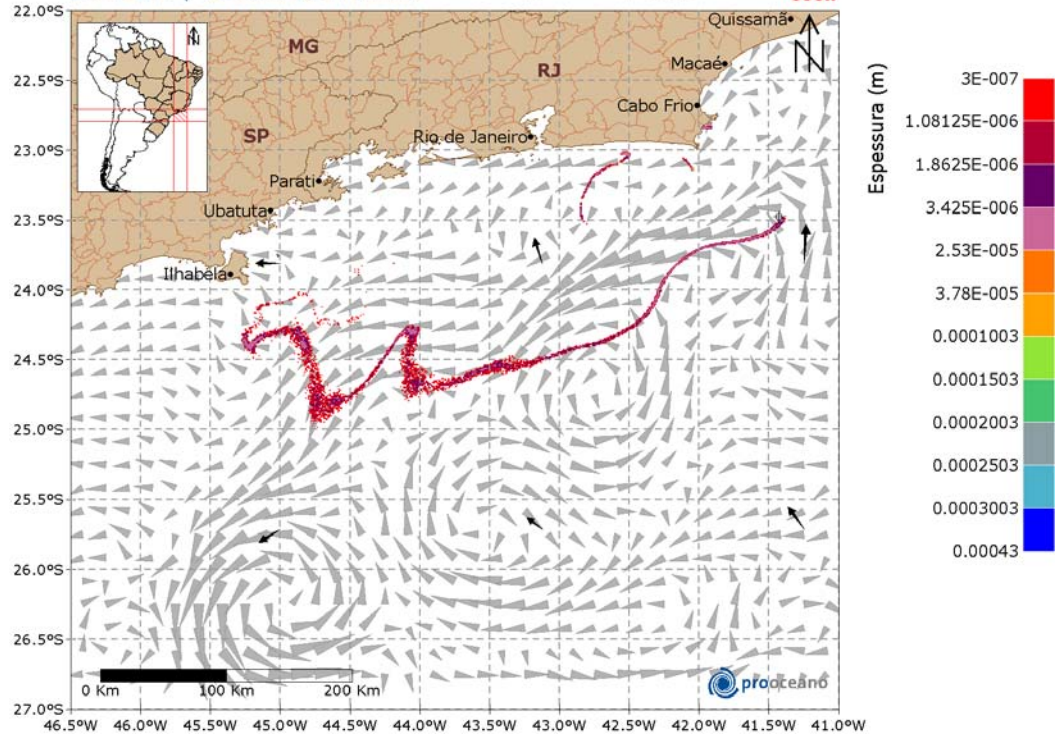


Figura 32: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 600 horas de simulação.

STROLL - modo determinístico

BM-C-41 | Cenário de Inverno

corrente ↑ vento

720h

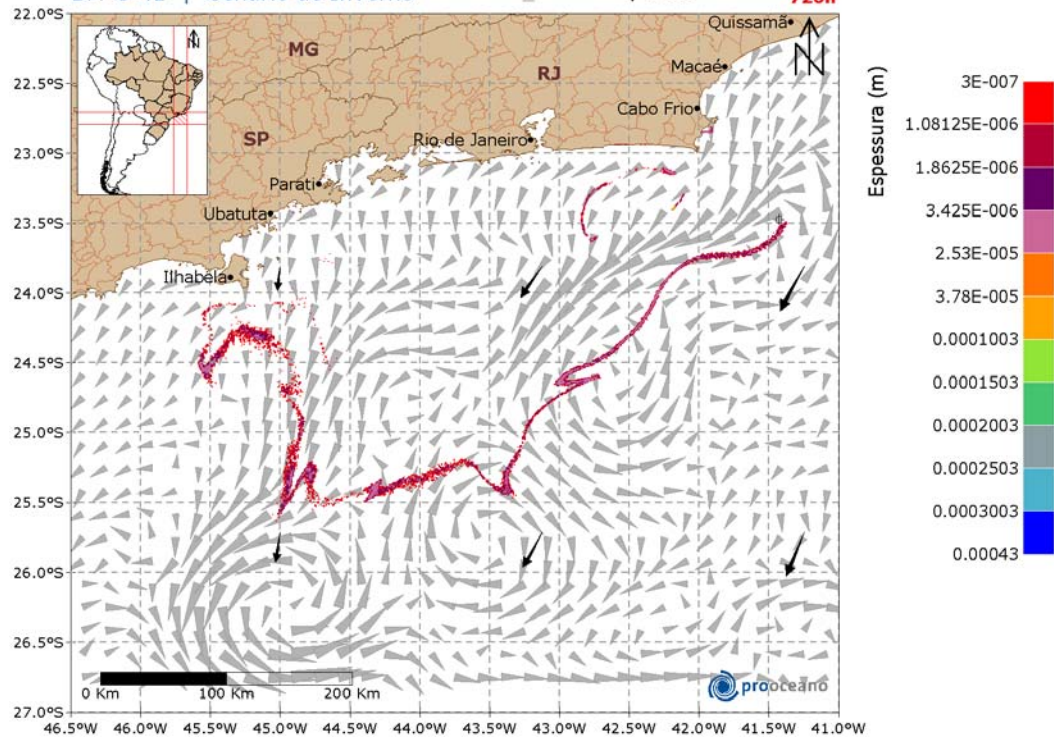


Figura 33: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 720 horas de simulação.

STROLL - modo determinístico

BM-C-41 | Cenário de Inverno

corrente ↑ vento

900h

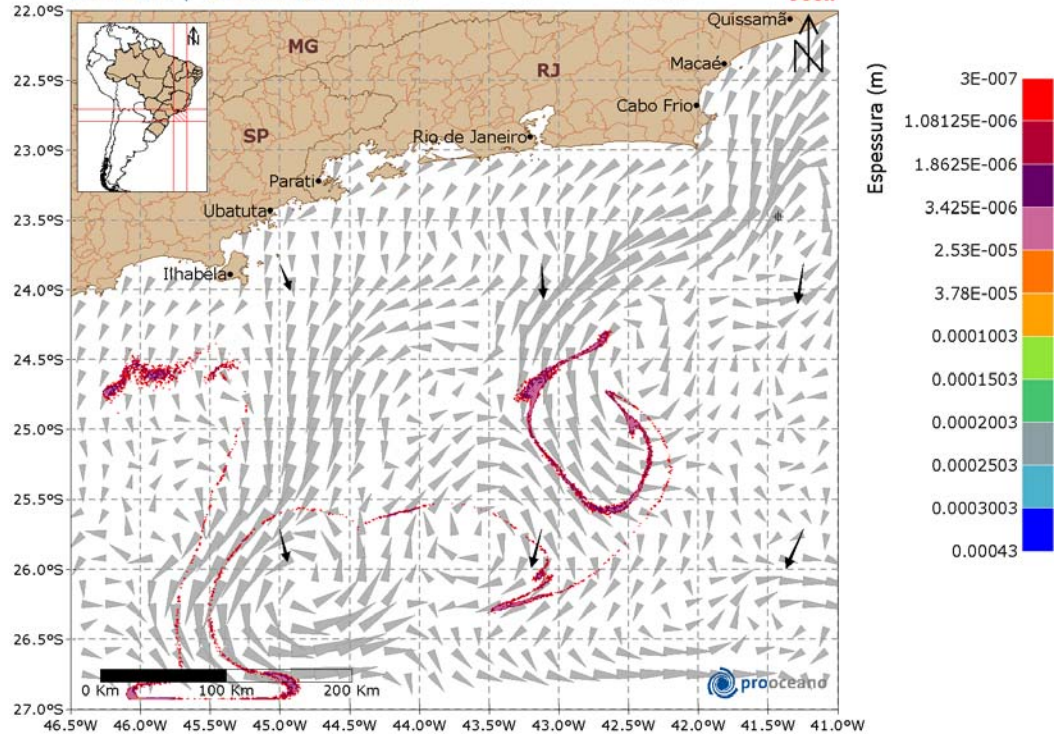


Figura 34: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 900 horas de simulação.

STROLL - modo determinístico

BM-C-41 | Cenário de Inverno

corrente ↑ vento

1200h

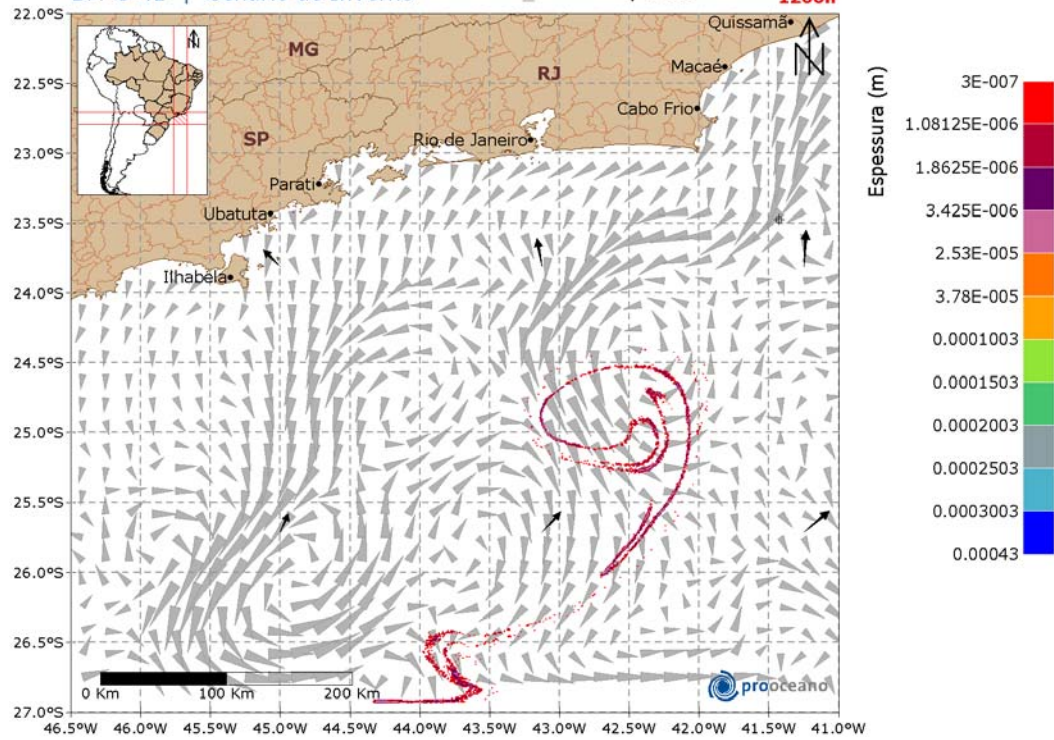


Figura 35: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 1200 horas de simulação.

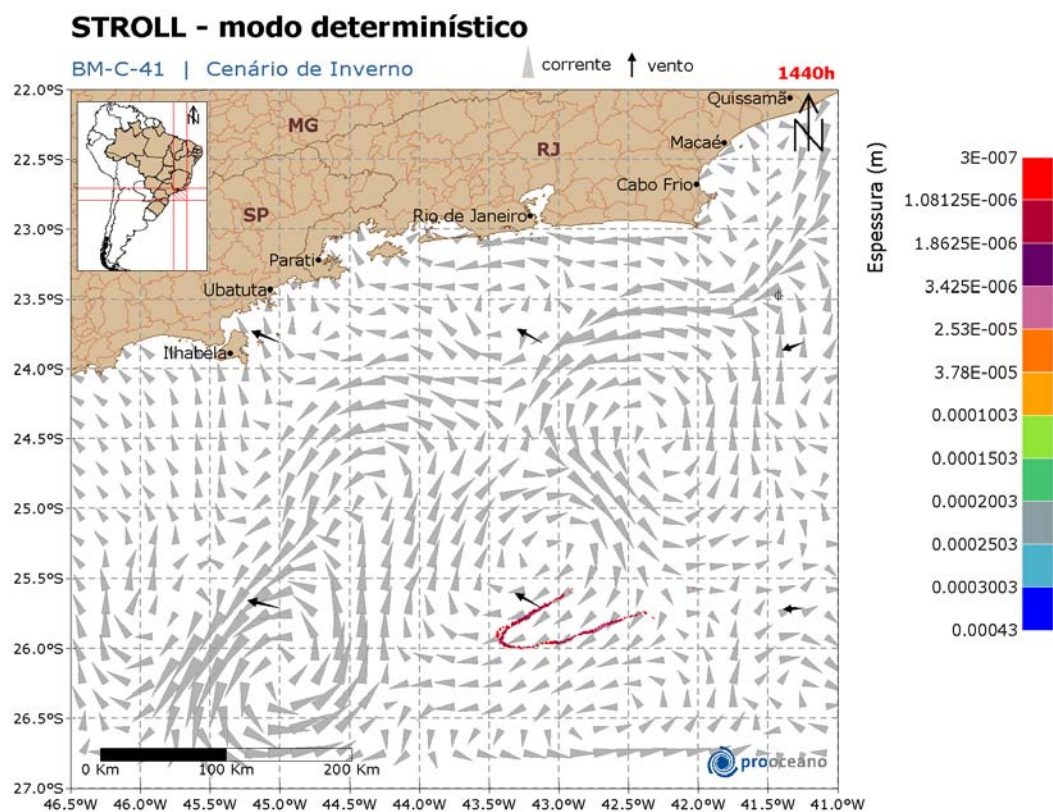


Figura 36: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 1440 horas de simulação.

A deriva do óleo ocorre na direção noroeste até 200h, quando se inicia a deriva rumo a oeste. O toque na costa ocorre em 84 horas após o início do vazamento, no município de Arraial do Cabo–RJ.

V.3. Balanços de Massa (ou Processos do Intemperismo)

A evolução temporal do balanço de massa obtido nas simulações é apresentada na Figura 37.

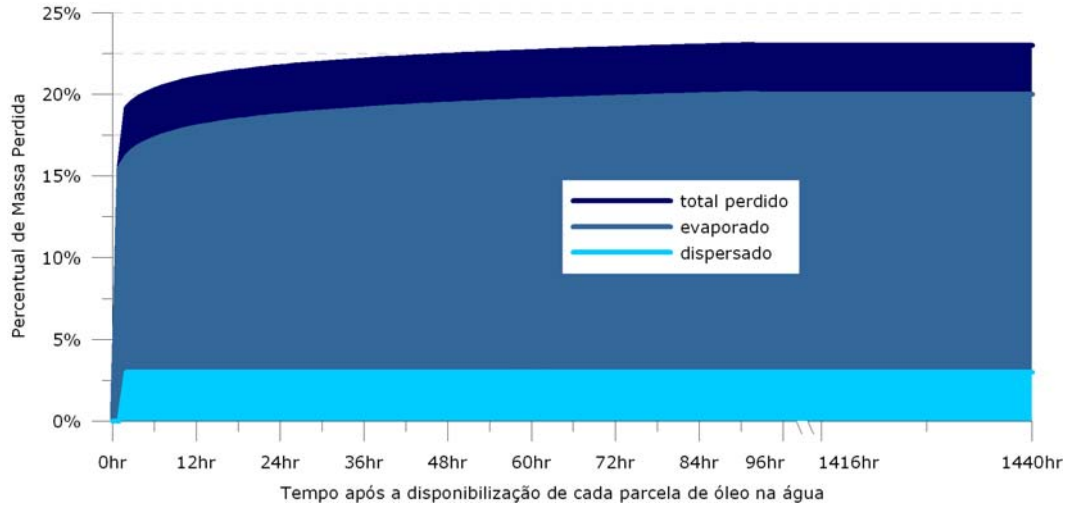


Figura 37: Evolução Temporal do Balanço de Massa ao longo da Simulação.

Ao longo da simulação a massa total de óleo perdida foi de 23%, sendo que esse valor é alcançado em até 84 horas após a disponibilização do óleo na água.

A perda total por evaporação foi o processo mais efetivo ao longo da simulação, consumindo 20% da massa, sendo essa porcentagem alcançada 84 horas após a disponibilização de cada parcela de óleo na água.

A perda de massa pela dispersão consumiu 3% do óleo vazado em cerca de 12 horas. O balanço de massa ao longo do tempo pode ser observado nas Figura 38 a Figura 41.

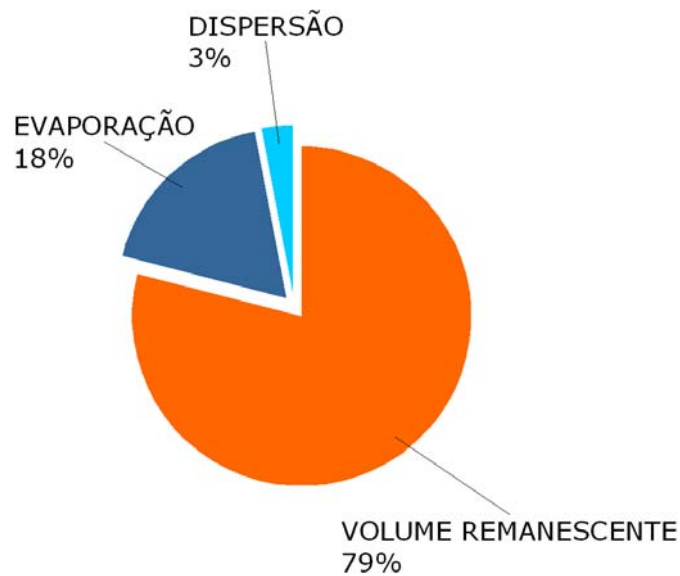


Figura 38: Balanço de Massa, após 12 horas de simulação.

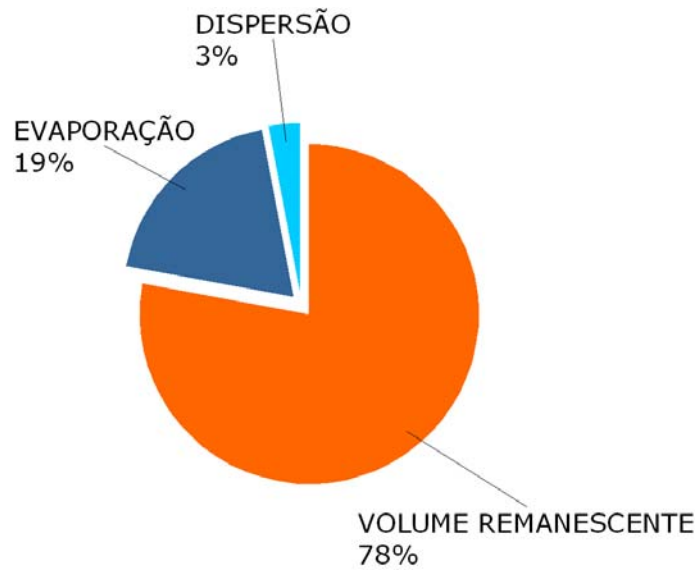


Figura 39: Balanço de Massa, após 36 horas de simulação.

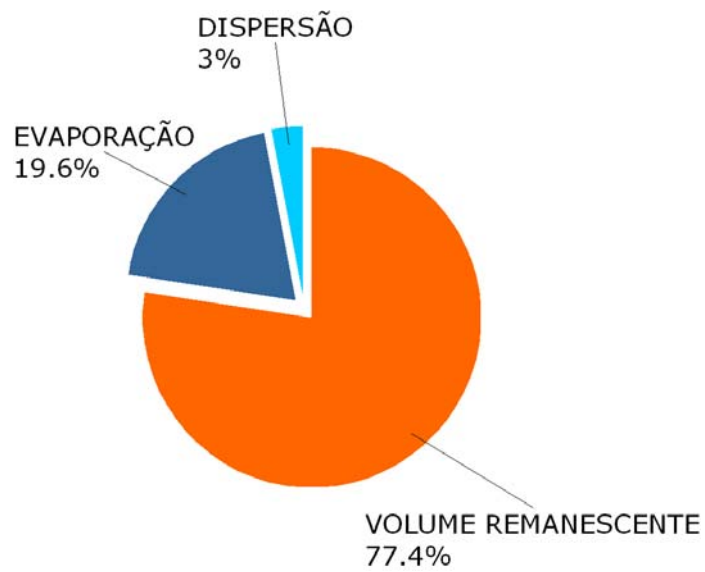


Figura 40: Balanço de Massa, após 60 horas de simulação.

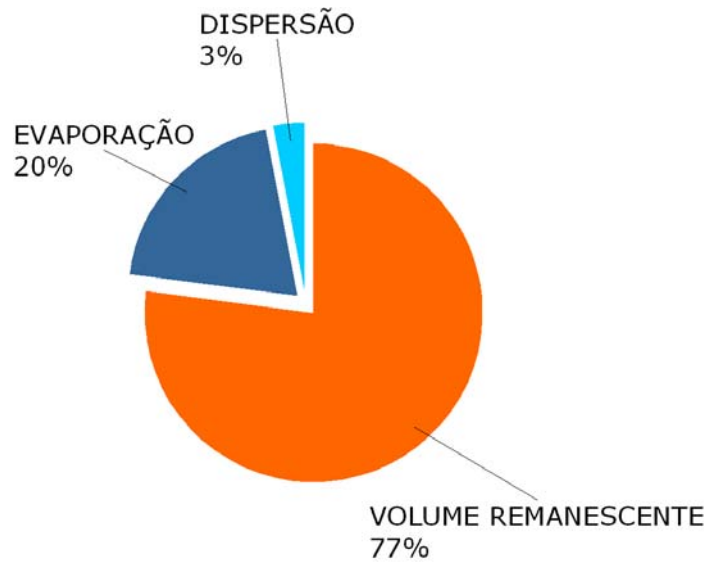


Figura 41: Balanço de Massa, após 84 horas de simulação.

VI. CONCLUSÃO

Em todas as simulações probabilísticas, pequeno e médio volume, além do *blow-out*, a deriva preferencial do óleo foi para sudoeste do poço.

Nos vazamentos de pequeno e médio volume, nos cenários de verão e inverno não se demonstrou probabilidade do óleo chegar à costa.

Os resultados obtidos na simulação de *blow-out* mostraram que a extensão de costa com probabilidade de presença de óleo foi maior no cenário de verão, abrangendo a região entre São João da Barra – RJ e Praia Grande - SP. No cenário de inverno a área de costa que pode ser atingida pelo óleo situa-se entre o município de São João da Barra – RJ e Guarujá – SP. O tempo mínimo de chegada do óleo na costa foi menor no cenário de inverno, 60-100 horas, enquanto no cenário de verão foi de 100-200 horas.

Com base nos resultados do modo probabilístico foi definido um cenário crítico de inverno. O critério escolhido para definição da situação foi o da trajetória que mais rapidamente alcançasse a costa.

Na trajetória escolhida para o cenário de inverno, a deriva do óleo ocorreu, inicialmente, para noroeste do poço, tocando a costa de Arraial do Cabo - RJ em 84 horas.

Os resultados obtidos em relação ao intemperismo do óleo mostraram que após 84 horas da disponibilização de cada parcela de óleo na água, os processos não mais atuam. A massa total de óleo perdida foi de 23%, sendo que a evaporação consumiu 20% desse total.

VII. BIBLIOGRAFIA

CSANADY, G. T., 1972. Turbulent Diffusion in the Environment. Geophysics and Astrophysics Monographs, Vol.3, 247 pp., D. Reidel Publishing Company, Dordrecht: Holland.

DELVIGNE G.A.L. and SWEENEY C.E.. Natural dispersion of Oil. Oil & Chemical Pollution 4 (1988) 281-310.

DELVIGNE G.A.L., Hulsen L. Simplified laboratory experiments of oil dispersion coefficient- Application of computations of natural oil dispersion. Proc. 17th AAM Oilspill Program Technical Seminar. Vancouver, Canada, 1994.

DING, L.; FARMER, D. M. 1994. Observations of breaking wave statistics. Journal of Physical Oceanography 24, 1368-1387.

ELLIOTT A.J. A probabilistic description of the wind over Liverpool Bay with application to oil spill simulations Estuarine, *Coastal and Shelf Science* 61 (2004) 569-581.

ELPN/IBAMA. Informação Técnica nº 023/2002. Modelagem de Derramamento de Óleo no Mar.

FLORES, et al. Computer Modeling of Oil Spill Trajectories with a High Accuracy Method. Spill Science & Technology Bulletin. v. 5, n.5-6, 1999, p. 323-330.

JONES. R. 1997 A simplified Pseudo-component Oil evaporation Model. NOAA, USA in Proceedings of the Twentieth Arctic and Marine Oilspill Program, Technical Seminar, Volume 1, p.43-60. Vancouver, Canada.

KALNAY, E, M. KANAMITSU, R. KISTLER, W. COLLINS, D. DEAVEN, L. GANDIN, M. IREDELL, S. SAHA, G. WHITE, J. WOOLLEN, Y. ZHU, M. CHELLIAH, W. EBISUZAK, W. HIGGINS, J. JANOWIAK, K.C. MO, C. ROPELEWSKI, J. WANG, A. LEETMAA, R. REYNOLDS, R. JENNE, D. JOSEPH, 1996: "The NCEP /NCAR 40-Year Reanalysis Project", Bulletin of the American Meteorological Society, 437-470.

LEHR, W.J., SIMECEK-BEATTY, D., 2000. The relation of Langmuir circulation processes to the standard oil spill spreading, dispersion, and transport algorithms. Spill Science and Technology Bulletin 6, 247-253.

LEHR, W.J., JONES, R., EVANS, M., SIMECEK-BEATTY, D., OVERSTREET, R., 2002. Revisions of the ADIOS oil spill model. Environmental Modelling and Software 17, 191-199.

LYMAN, J. L.; REEHL, W.F.; ROSENBLATT, D.A. Handbook of Chemical Property Estimation Methods. American Chemical Society, Washington D.C., 1990.

MACKAY, D. & R. S. MATSUGU, 1973.: Evaporation rates of liquid hydrocarbon spills on land and water. Can J. Chem. Eng., 51. 434-9.

MACKAY, D., I. BUIST, R. MASCARENHAS & S. PATERSON, 1980.: Oil Spill Processes and Models. Environmental Protection Service. Canada. Report EE-8.

MACKAY, D., SHIU, W.Y., HOSSAIN, K., STIVER, W., MCCURDY, D., PETERSON, S., TEBEAU, P. A., 1983. Development and Calibration of an Oil Spill Behavior Model, Report

No. CG-D-27-83, United States Coast Guard Office of Research and Development, Groton, Conn., USA.

MONAHAN, E., 1971. Oceanic whitecaps. *Journal of Physical Oceanography* 1, 139–144.

NOAA, 2000. Evaporation Technical Notes in ADIOS 2 (Automated Data Inquiry for oil Spills).

OEY, L.-Y., G.L. MELLOR, and R.I. HIRES, 1985a. A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary. Part I: Description of the model and model simulations, *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 1676-1692.

OEY, L.-Y., G.L. MELLOR, and R.I. HIRES, 1985b. A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary. Part II: Comparison with observation, *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 1693-1709.

SOTO, Y. J. M. A modelagem hidrodinâmica como apoio a tomada de decisão em caso de derrame de óleo na parte interna do complexo estuarino Antonina-Paranaguá-PR. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Paraná. 2004.

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



Anexo 8-1

Análise e Gerenciamento de Riscos Ambientais



Anexo 9-1

Evidências Contratuais

Rio de Janeiro, 27 de agosto de 2008.

A

OGX PETRÓLEO E GÁS.

Praia do Flamengo, 154 / 4º Andar – Flamengo

CEP. 22210-030, Rio de Janeiro – RJ – Brasil

At.: Gerência de Licenciamento Ambiental, Saúde e Segurança (Sra. Glória Maria dos Santos Marins – Ger. de Licenciamento Ambiental, Saúde e Segurança)

Prezada Sra.,

Confirmamos que a Navegação São Miguel Ltda. opera as embarcações listadas abaixo, todas aptas a receberem em seus tanques resíduos oleosos gerados em operações de resposta a incidentes envolvendo poluição por óleo no mar.

Informamos ainda que nossas tripulações são treinadas e certificadas para operações com óleo e seus derivados e que as embarcações em tela encontram-se em atividade nos portos do Rio de Janeiro, Vitória ou Santos.

EMBARCAÇÃO	TANCAGEM	TIPO
SM Serra Polar (mar aberto)	3.438,72 m ³	<i>Small tanker</i>
SM Apollo (mar aberto)	3.309,42 m ³	<i>Small tanker</i>
SM Ponta Negra	1.926,80 m ³	<i>Small tanker</i>
CD Arpoador (mar aberto)	1.893,28 m ³	Chata não propulsada
Dundee	780 m ³	<i>Platform Supply Vessel</i>
Vitória (mar aberto)	N.A.	Rebocador
Camburi (mar aberto)	N.A.	Rebocador
Novo Rio (mar aberto)	N.A.	Rebocador



**NAVEGAÇÃO
SÃO MIGUEL**

Caso as embarcações não se encontrem disponíveis na eventualidade de um incidente que requeira sua mobilização, a NSML enviará seus melhores esforços juntos aos clientes para obter sua pronta liberação.

Atenciosamente,



Antônio Carlos L. Thomé
Administrador

Rio de Janeiro, 30 de Maio de 2008

À
OGX Petróleo e Gás Ltda.
Praia do Flamengo nº 154/7º andar
CEP: 22210-030 - Rio de Janeiro
Rio de Janeiro - RJ

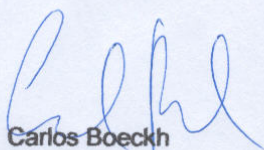
At.: Sra Gloria M^a dos S. Marins

Ref.: Proteção Ambiental a Derramamento de Óleo

Prezados (as) Senhores (as),

Autorizamos a empresa **OGX Petróleo e Gás Ltda.** a incluir no Plano de Contingência referente à operação nas áreas exploratórias da Bacia de Campos (BM-C-39, BM-C-40, BM-C-41, BM-C-42 e BM-C-43) e da Bacia de Santos (BM-S-56, BM-S-57, BM-S-58 e BM-S-59) programada para iniciar no segundo semestre de 2009, com previsão de duração de 1 ano e 8 meses, menção da **HIDROCLEAN Proteção Ambiental** como empresa prestadora de serviços de resposta a emergências ambientais com vazamento óleo para o mar, através de nossas bases no Rio de Janeiro, Santos e Vitória, face à negociação ora em curso com o objetivo de firmar contrato dessa natureza.

Atenciosamente,


Carlos Boeckh
Diretor

Rio de Janeiro, 27 de agosto de 2008.

À

OGX Petróleo e Gás.

A/C Sr. Leonardo Bravo
Analista de Meio Ambiente Sr

Ref.: Resposta a solicitação de informações para desenvolvimento do Plano de Emergência Individual

Prezado Sr. Pedro,

Segue abaixo a resposta aos questionamentos referentes ao processo de licenciamento da Atividade de Perfuração Marítima na Bacia de Campos.

a) Pendência 001.

“Embarcações Dedicadas: Definição; características; certificados.”

A embarcação a ser utilizada nas ações de resposta a emergências como Embarcação Dedicada (24hs na Zona de Exclusão do empreendimento) para o período das Atividades de Perfuração Marítima na Bacia de Campos, será a embarcação “FERNANDA M” (ou similar). As características principais desta embarcação e das similares podem ser contempladas no **ANEXO I** deste documento.

Como não há definição para o início das operações de perfuração, a *Hidroclean – Proteção Ambiental* se reserva a indicar as 04 embarcações definidas no **ANEXO I** como forma de precaução, caso alguma destas esteja em contrato no momento do início das atividades da **OGX Petróleo e Gás.**

A embarcação "FERNANDA M", assim como as embarcações similares a serviço da *Hidroclean - Proteção Ambiental* para estes fins, são embarcações classificadas como **NÃO-SOLAS**. Os certificados exigidos pela MARPOL 73/78 para estas embarcações encontram-se em anexo (formato digital) a este documento. Estes são:

- Certificado de Borda Livre (CBL);
- Certificado de Segurança da Navegação (CSN).

b) Pendência 002.

"Informações sobre as bases e equipamentos adicionais da empresa de prestação de serviços de atendimento a emergências para eventos acidentais com derramamento de óleo no mar."

Para o atendimento da presente operação, além da Base Operacional de São Gonçalo (Baía de Guanabara), a *Hidroclean - Proteção Ambiental* manterá sob regime de prontidão seus esforços das Bases Operacionais localizadas na costa do Espírito Santo (Vitória), São Paulo (Santos) e Paraná (Paranaguá). Informações sobre a localização e contatos das referentes Bases Operacionais podem ser contempladas na tabela abaixo:

Base Operacional	Coordenadas Geográficas (Datum WGS84)	Estado	Endereço	Contatos
São Gonçalo	22° 49' 29,57" S 43° 05' 34,67" W	Rio de Janeiro	R. Manoel Duarte, 2999 / Parte Porto Gradim, São Gonçalo - RJ CEP. 24430-500	Marcelo Cortes (Ger. de Operações) marcelo.cortes@hidroclean.com.br (21) 8604-2977 (21) 3715-8781 Fax: (21)3706-2295 0800-28CLEAN
Santos	23° 56' 37" S 46° 18' 29" W	São Paulo	Av. Senador Salgado Filho, 356, Guarujá - SP CEP. 11450-450	Silvio Dantas (Ger. de Operações) silvio.dantas@hidroclean.com.br (13) 3342-4772 (13) 7807-7630
Vitória	20° 19' 06,29" S 40° 18' 02,21" W	Espírito Santo	R. Oscar Paulo da Silva, 264, Praia do Suá, Vitória - ES CEP. 29050-430	Winner Felix (Ger. de Operações) winer@hidroclean.com.br (27) 8817-5471 (27) 8835-7645 Fax: (27) 3225-7481
Paranaguá	25° 30' 50,44" S 48° 29' 46,61 W	Paraná	R. Benjamin Constant 89, Oceania Paranaguá - PR CEP. 83203-190	Felipe Santos (Ger. de Operações) tadeu.pindel@hidroclean.com.br (41) 7813-6421 (47) 9901-6038

Além dos equipamentos a bordo da Embarcação Dedicada na locação, todos os equipamentos adicionais (fora de contrato) das Bases supracitadas estarão disponíveis ao atendimento a emergências para as atividades de perfuração na Bacia de Campos da OGX Petróleo e Gás. Todas as bases apresentam saída para o mar e por terra.

Conforme a área de influência indireta definida pelo Estudo Matemático para Dispersão do Óleo no Mar para o empreendimento, a presença de recursos e pessoal sob regime de prontidão nestes pontos para proteção da costa e limpeza do litoral será essencial.

Segue abaixo o *staff* e o inventário dos equipamentos de resposta a emergência para proteção da costa e limpeza do litoral de cada Base Operacional da *Hidroclean – Proteção Ambiental*:

BASE DE SÃO GONÇALO / RJ

STAFF:

- 01 Gerente de Operações;
- 01 Gerente de Manutenção;
- 25 funcionários (coordenadores, supervisores e operadores)

EQUIPAMENTO E MATERIAL DE RESPOSTA:

Tipo de Equipamento	Especificação	Quantidade	Características Operacionais	Recomendações e Limitações para Uso
Embarcação	<i>Work boat</i>	04	Comp. = 10,5 m Boca = 3 m Pontal = 1,1 m	Navegação de águas abrigadas e mar aberto
Barreira de Contenção Portuária	Avadan	6.040 m	Borda livre: 0,16 m Calado: 0,21 m	Para uso em águas abrigadas
Barreira de Contenção Portuária	Latintec GX370	275 m	Borda livre: 0,16 m Calado: 0,21 m	Para uso em águas abrigadas
Barreira de Contenção Portuária	Troil Boom GP 750	800 m	Borda livre: 0,25 m Calado: 0,50 m	Para uso em águas abrigadas; Pode ser rebocada em configuração em "U"; Velocidade de reboque não deverá exceder 1 nó.

Tipo de Equipamento	Especificação	Quantidade	Características Operacionais	Recomendações e Limitações para Uso
Barreira de Contenção Portuária	Crucial	650 m	Borda livre: 0,20 m Calado: 0,40 m	Para uso em águas abrigadas.
Barreira de Contenção Portuária	Crucial 130	250 m	Borda livre: 0,40 m Calado: 0,90 m	Para uso em águas abrigadas e costeiras.
Barreira de Contenção Portuária	Denver	240 m	Borda livre: 0,28 m Calado: 0,28 m	Para uso em águas abrigadas.
Barreira de Contenção Portuária	Garner	180 m	Borda livre: 0,28 m Calado: 0,28m	Para uso em águas abrigadas.
Barreira de Contenção Portuária	Seafence	180 m	Borda livre: 0,20 m Calado: 0,30 m	Para uso em águas abrigadas.
Barreira de Contenção para Rios	RO-Boom River	375 m	Borda livre: 0,20 m Calado: 0,30 m Inflável	Para uso em rios.
Barreira de Contenção para Praias	RO-Boom Beach	140 m	Borda livre: 0,31 m Calado: 0,32 m Inflável com lastro de água; Pode ser empregada sobre o sedimento	Para uso em praias arenosas e margens arenosas de rios

Tipo de Equipamento	Especificação	Quantidade	Características Operacionais	Recomendações e Limitações para Uso
Barreira de Contenção Oceânica	RO-Boom 1000	200 m	Borda livre: 0,36 m Calado: 0,43 m	São adequadas para utilização em portos, terminais e águas costeiras protegidas. Eficientes com ondulação de até 2 m;* Estáveis em correntes de até 3 nós;* Velocidade máxima de reboque em linha 10 nós.
Barreira de Contenção Oceânica	RO-Boom 1300	400 m	Borda livre: 0,44 m Calado: 0,66 m	São adequadas para utilização em portos, terminais e águas costeiras. Eficientes com ondulação de até 3 m;* Estáveis em correntes de até 3 nós;* Velocidade máxima de reboque em linha 10 nós.
Barreira de Contenção Oceânica	RO-Boom 1800	500 m	Borda livre: 0,60 m Calado: 0,90 m	Adequadas para uso em mar aberto; Suporta ventos até Beaufort 3 Eficientes com ondulação de até 3,5 – 4m;* Estáveis em correntes de até 3 nós;* Velocidade máxima de reboque em linha 10 nós.
Barreira de Contenção Oceânica	RO-Boom 2000	200 m	Borda livre: 0,60 m Calado: 1,1 m	Adequadas para uso em mar aberto; Suporta ventos até Beaufort 3 Eficientes com ondulação de até 4 m;* Estáveis em correntes de até 3 nós;* Velocidade máxima de reboque em linha 10 nós.
Barreira de Contenção Oceânica	RO-Boom 2200	100 m	Borda livre: 0,60 m Calado: 1,1 m	Adequadas para uso em mar aberto; Suporta ventos até Beaufort 3 Eficientes com ondulação de até 4,5 m;* Estáveis em correntes de até 3 nós;* Velocidade máxima de reboque em linha 10 nós.

**As capacidades explicitadas são dados informados pelo fabricante. Estes dados variam com o tipo de embarcações utilizadas e intensidade do vento. A segurança dos envolvidos na operação sempre será requisito primordial nas manobras de contenção e recolhimento de óleo realizadas pela Hidroclean. Portanto, por experiência operacional e limite operacional dos recolhedores de offshore, a Hidroclean – Proteção Ambiental emprega em suas ações de resposta o limite de segurança operacional de até Escala Beaufort 3.*

Tipo de Equipamento	Especificação	Quantidade	Características Operacionais	Recomendações e Limitações para Uso
Barreira para águas rápidas	Current Buster	02	Borda livre: 0,60 m Calado: 0,60 m Calado do separador: 2m (em operação) Volume de retenção do separador: 25 m ³	Adequados para uso em águas abrigadas e não abrigadas; Eficientes em correntes de até 3,5 a 4 nós O separador permite a diminuição da turbulência para promover eficiência no recolhimento.
Braço de varredura para cerco singelo	Sweep Boom	02	Comprimento: 15m Comprimento da barreira de contenção: 40m Borda livre max. da barreira: 0,50 m Calado máx. da barreira: 0,70m	Adequados para uso em águas abrigadas e não abrigadas; Utiliza 01 embarcação;
Recolhedor	Desmi Terminator	02	Recolhedor do tipo vertedouro auto-ajustável. Bomba DOP 250 de deslocamento positivo (125 m ³ /h).	Capaz de operar em óleos com 1.000.000 cSt; Uso em mar abeto e águas abrigadas; Limite operacional Escala Beaufort 3
Recolhedor	Desmi Tarantula	01	Recolhedor do tipo vertedouro auto-ajustável. 02 x Bomba DOP 250 de deslocamento positivo (125 m ³ /h cada).	Capaz de operar em óleos com 1.000.000 cSt; Uso em mar abeto e águas abrigadas; Limite operacional Escala Beaufort 3
Recolhedor	Desmi Alligator	01	Recolhedor do tipo "feeder" de esteira; Bomba DOP 160 de deslocamento positivo (30 m ³ /h).	Capaz de operar em óleos com 1.000.000 cSt Uso em mar abeto e águas abrigadas
Recolhedor	Desmi Belt	02	Recolhedor do tipo "feeder" acoplado ao Desmi Terminator. Bomba DOP 250 de deslocamento positivo (125m ³ /h).	Capaz de operar em óleos com 1.000.000 cSt; Uso em mar abeto e águas abrigadas.
Recolhedor	"Boeckh"	03	C _N = 30m ³ /h	Uso em águas abrigadas
Recolhedor	Desmi Mini-Max	03	C _N = 30m ³ /h	Efetivo para óleos com viscosidade entre 0-1.000.000 cSt

Tipo de Equipamento	Especificação	Quantidade	Características Operacionais	Recomendações e Limitações para Uso
Recolhedor	RO-Mop 140	01	Recolhedor por uso de cordão oleofílico; $C_N = 3 - 5 \text{ m}^3/\text{h}$	Uso em águas abrigadas; Efetivo para óleos leves a médios.
Recolhedor	Desmi Termite	02	Recolhedor do tipo vertedouro auto-ajustável; Bomba DOP 160 deslocamento positivo ($30 \text{ m}^3/\text{h}$).	Capaz de operar em diversos tipos de óleos; Uso em mar abeto e águas abrigadas.
Recolhedor	Walosop	01	$C_N = 150 \text{ m}^3/\text{h}$	Uso em mar abeto e águas abrigadas.
Recolhedor	Elastec TDS118	01	Recolhedor por uso de rolo oleofílico; $C_N = 30 \text{ m}^3/\text{h}$	Uso águas abrigadas
Recolhedor	Argentino	02	$C_N = 30 \text{ m}^3/\text{h}$	Uso em águas abrigadas
Bomba para recolhedor	DOP 160	01	Bomba DOP 160 de deslocamento positivo ($C_N = 30 \text{ m}^3/\text{h}$).	-
Bomba para recolhedor	Spate 75C	03	Bomba de sucção de duplo diafragma ($C_N = 31,8 \text{ m}^3/\text{h}$);	Altura máx. de sucção = 9,1 m; Altura máx. de descarga = 30,5 m
Bomba para recolhedor	Bomba Wilden	02	Bomba pneumática com diafragma ($C_N = 2 - 3 \text{ m}^3/\text{h}$);	Efetiva para óleos leves a médios
Bomba para sistema de dispersante	Bomba Boat Spray	02	Vazão de 60 a 100 litros/min.	-
Sistema de dispersante	-	01	Vazão de 60 a 100 litros/min.	Para uso em embarcações.

Tipo de Equipamento	Especificação	Quantidade	Características Operacionais	Recomendações e Limitações para Uso
Material Adsorvente	Barreira Adsorvente	1.316 m	Lance = 0,2 m x 3,0m; Capacidade de adsorção = 10 a 25 vezes o seu peso (~ 81,9L / lance); Tempo de fluabilidade indefinido mesmo após saturação.	Capacidade de recolhimento inversamente proporcional à viscosidade do óleo
Material Adsorvente	Manta Adsorvente	4.400 un. ou 2.200 m	Unidade = 0,40 x 0,50 x 0,004m; Capacidade de adsorção = 10 a 25 vezes o seu peso (~ 1,37L / peça); Tempo de fluabilidade indefinido mesmo após saturação.	Capacidade de adsorção inversamente proporcional à viscosidade do óleo
Material Adsorvente	Adsorvente Orgânico	6.081 kg	Capacidade de adsorção = 5 a 6 vezes o peso do adsorvente em óleo.	Capacidade de adsorção inversamente proporcional à viscosidade do óleo; Pode vir a afundar após saturação;
Armazenamento temporário	Tanque inflável portátil (RO-Tank 15)	02	Capacidade = 15 m ³	Uso somente para óleos
Armazenamento temporário	Tanque inflável portátil (RO-Tank 50)	04	Capacidade = 50 m ³	Uso somente para óleos
Armazenamento temporário	Tanque portátil terrestre	01	Capacidade = 0,5m ³	Uso somente para óleos
Limpeza de costa	Pá metálica	41	-	Auxílio no recolhimento manual do óleo no litoral
Limpeza de costa	Peneiras	17	-	Auxílio no recolhimento manual do óleo no litoral
Limpeza de costa	Rastelos	37	-	Auxílio no recolhimento manual do óleo no litoral
Limpeza de costa	Puçá	04	-	Auxílio no recolhimento manual do óleo no litoral

Tipo de Equipamento	Especificação	Quantidade	Características Operacionais	Recomendações e Limitações para Uso
Limpeza de costa	Bomba de baixa pressão	12	-	Uso no jateamento de ambientes contaminados por óleo
Limpeza de costa	Bomba de média e alta pressão	04	Pressão regulável	Uso no jateamento de ambientes contaminados por óleo
Limpeza de costa	Moto bomba Stihl P835	03	Capacidade = 12m ³ /h	Recolhimento de óleo derramado Altura máx. de sucção = 45 m;
Limpeza de costa	Moto bomba Stihl P845	01	Capacidade = 30m ³ /h	Recolhimento de óleo derramado Altura máx. de sucção = 35 m;
Limpeza de costa	<i>Bigbag</i>	20	Vol. máx. = 500 kg	Coleta e destinação de resíduos
Outros	Soprador Portátil	12	-	Aplicação de adsorvente orgânico; Auxílio no preenchimento das câmaras de barreiras infláveis

BASE DE SANTOS / SP

STAFF:

- 01 Gerente de Operações;
- 05 funcionários (operadores).

EQUIPAMENTO E MATERIAL DE RESPOSTA:

Tipo de Equipamento	Especificação	Quantidade	Características Operacionais	Recomendações e Limitações para Uso
Barreira de Contenção Portuária	Latintec GX370	275 m	Borda livre: 0,16 m Calado: 0,21 m	Para uso em águas abrigadas
Barreira de Contenção Portuária	Troil Boom GP 750	600 m	Borda livre: 0,25 m Calado: 0,50 m	Para uso em águas abrigadas; Pode ser rebocada em configuração em "U"; Velocidade de reboque não deverá exceder 1 nó.

Tipo de Equipamento	Especificação	Quantidade	Características Operacionais	Recomendações e Limitações para Uso
Recolhedor	"Boeckh"	03	$C_N = 30\text{m}^3/\text{h}$	Uso em águas abrigadas
Recolhedor	Desmi Mini-Max	03	$C_N = 30\text{m}^3/\text{h}$	Efetivo para óleos com viscosidade entre 0-1.000.000 cSt
Bomba para recolhedor	Spate 75C	03	Bomba de sucção de duplo diafragma ($C_N = 31,8 \text{ m}^3/\text{h}$);	Altura máx. de sucção = 9,1 m; Altura máx. de descarga = 30,5 m
Armazenamento temporário	Tanque inflável portátil	01	Capacidade = 10 m^3	Uso somente para óleos
Material Adsorvente	Barreira Adsorvente	1.000 m	Lance = 0,2 m x 3,0m; Capacidade de adsorção = 10 a 25 vezes o seu peso (~ 81,9L / lance); Tempo de fluabilidade indefinido mesmo após saturação.	Capacidade de recolhimento inversamente proporcional à viscosidade do óleo
Material Adsorvente	Manta Adsorvente	1.000 un. ou 500 m	Unidade = 0,40 x 0,50 x 0,004m; Capacidade de adsorção = 10 a 25 vezes o seu peso (~ 1,37L / peça); Tempo de fluabilidade indefinido mesmo após saturação.	Capacidade de adsorção inversamente proporcional à viscosidade do óleo
Material Adsorvente	Adsorvente Orgânico	2.000 kg	Capacidade de adsorção = 5 a 6 vezes o peso do adsorvente em óleo.	Capacidade de adsorção inversamente proporcional à viscosidade do óleo; Pode vir a afundar após saturação;
Limpeza de costa	Bomba de baixa pressão	05	-	Uso no jateamento de ambientes contaminados por óleo
Limpeza de costa	Pá metálica	02	-	Auxílio no recolhimento manual do óleo no litoral
Limpeza de costa	Rastelo	21	-	Auxílio no recolhimento manual do óleo no litoral

Tipo de Equipamento	Especificação	Quantidade	Características Operacionais	Recomendações e Limitações para Uso
Limpeza de costa	Peneira	04	-	Auxílio no recolhimento manual do óleo no litoral
Limpeza de costa	Puçá	04	-	Auxílio no recolhimento manual do óleo no litoral
Limpeza de costa	Vassoura	08	-	Auxílio no recolhimento manual do óleo no litoral
Limpeza de costa	<i>Bigbag</i>	57	Vol. máx. = 500 kg	Coleta e destinação de resíduos
Outros	Soprador Portátil	01	-	Aplicação de adsorvente orgânico; Auxílio no preenchimento das câmaras de barreiras infláveis
Outros	Separador água/óleo	01	2 m ³ /h	-

BASE DE VITÓRIA / ES

STAFF:

- 01 Gerente de Operações;
- 05 funcionários (operadores).

EQUIPAMENTO E MATERIAL DE RESPOSTA:

Tipo de Equipamento	Especificação	Quantidade	Características Operacionais	Recomendações e Limitações para Uso
Barreira de Contenção Portuária	Latintec GX370	175 m	Borda livre: 0,16 m Calado: 0,21 m	Para uso em águas abrigadas
Barreira de Contenção Portuária	Troil Boom GP 750	200 m	Borda livre: 0,25 m Calado: 0,50 m	Para uso em águas abrigadas; Pode ser rebocada em configuração em "U"; Velocidade de reboque não deverá exceder 1 nó.
Barreira de Contenção Portuária	Denver	240 m	Borda livre: 0,28 m Calado: 0,28 m	Para uso em águas abrigadas.

Tipo de Equipamento	Especificação	Quantidade	Características Operacionais	Recomendações e Limitações para Uso
Recolhedor	"Boeckh"	03	$C_N = 30\text{m}^3/\text{h}$	Uso em águas abrigadas
Bomba para recolhedor	Bomba Wilden	01	Bomba pneumática com diafragma ($C_N = 2 - 3 \text{m}^3/\text{h}$);	Efetiva para óleos leves a médios
Armazenamento temporário	Tanque terrestre	01	Capacidade = 2m^3	Uso somente para óleos
Armazenamento temporário	Tanque terrestre	01	Capacidade = 3m^3	Uso somente para óleos
Material Adsorvente	Barreira Adsorvente	1.449 m	Lance = $0,2 \text{m} \times 3,0\text{m}$; Capacidade de adsorção = 10 a 25 vezes o seu peso ($\sim 81,9\text{L} / \text{lance}$); Tempo de fluatibilidade indefinido mesmo após saturação.	Capacidade de recolhimento inversamente proporcional à viscosidade do óleo
Material Adsorvente	Manta Adsorvente	5150 un. ou 2.575 m	Unidade = $0,40 \times 0,50 \times 0,004\text{m}$; Capacidade de adsorção = 10 a 25 vezes o seu peso ($\sim 1,37\text{L} / \text{peça}$); Tempo de fluatibilidade indefinido mesmo após saturação.	Capacidade de adsorção inversamente proporcional à viscosidade do óleo
Material Adsorvente	Adsorvente Orgânico	1.150 kg	Capacidade de adsorção = 5 a 6 vezes o peso do adsorvente em óleo.	Capacidade de adsorção inversamente proporcional à viscosidade do óleo; Pode vir a afundar após saturação;
Limpeza de costa	Bomba de baixa pressão	01	-	Uso no jateamento de ambientes contaminados por óleo
Limpeza de costa	Bomba de drenagem	01	Elétrica	Recolhimento de óleo derramado.
Limpeza de costa	Pá metálica	10	-	Auxílio no recolhimento manual do óleo no litoral
Limpeza de costa	Rastelo	05	-	Auxílio no recolhimento manual do óleo no litoral

Tipo de Equipamento	Especificação	Quantidade	Características Operacionais	Recomendações e Limitações para Uso
Limpeza de costa	Peneira	05	-	Auxílio no recolhimento manual do óleo no litoral
Limpeza de costa	Enxada	05	-	Auxílio no recolhimento manual do óleo no litoral
Limpeza de costa	Puçá	04	-	Auxílio no recolhimento manual do óleo no litoral
Limpeza de costa	Vassoura	08	-	Auxílio no recolhimento manual do óleo no litoral
Limpeza de costa	<i>Bigbag</i>	57	Vol. máx. = 500 kg	Coleta e destinação de resíduos
Outros	Soprador Portátil	02	-	Aplicação de adsorvente orgânico; Auxílio no preenchimento das câmaras de barreiras infláveis

BASE DE PARANAGUÁ / PR

STAFF:

- 01 Gerente de Operações;
- 01 funcionário (operador).

EQUIPAMENTO E MATERIAL DE RESPOSTA:

Tipo de Equipamento	Especificação	Quantidade	Características Operacionais	Recomendações e Limitações para Uso
Barreira de Contenção Portuária	Avadan	150 m	Borda livre: 0,16 m Calado: 0,21 m	Para uso em águas abrigadas
Recolhedor	Desmi Mini-Max	02	$C_N = 30\text{m}^3/\text{h}$	Efetivo para óleos com viscosidade entre 0-1.000.000 cSt
Recolhedor	Desmi Termite	01	Recolhedor do tipo vertedouro auto-ajustável; Bomba DOP 160 deslocamento positivo ($30\text{ m}^3/\text{h}$).	Capaz de operar em diversos tipos de óleos; Uso em mar aberto e águas abrigadas.

Tipo de Equipamento	Especificação	Quantidade	Características Operacionais	Recomendações e Limitações para Uso
Recolhedor	RO-Disc 40	01	Recolhedor a disco oleofílico; Possui elevada eficiência de recolhimento: 98% em camada de 10mm de diesel, 99% em camada de 25mm de diesel; CN = 40 m ³ /h	Excelente desempenho em concentrações elevadas de óleos de baixa e média viscosidades que serão recolhidos pelos discos; Uso em águas abrigadas e costeiras.
Bomba para recolhedor	Spate 75C	03	Bomba de sucção de duplo diafragma (C _N = 31,8 m ³ /h);	Altura máx. de sucção = 9,1 m; Altura máx. de descarga = 30,5 m
Armazenamento temporário	Tanque terrestre	01	Capacidade = 3 m ³	Uso somente para óleos
Material Adsorvente	Barreira Adsorvente	1.500 m	Lance = 0,2 m x 3,0m; Capacidade de adsorção = 10 a 25 vezes o seu peso (~ 81,9L / lance); Tempo de flutuabilidade indefinido mesmo após saturação.	Capacidade de recolhimento inversamente proporcional à viscosidade do óleo
Material Adsorvente	Manta Adsorvente	3.000 un. ou 1.500 m	Unidade = 0,40 x 0,50 x 0,004m; Capacidade de adsorção = 10 a 25 vezes o seu peso (~ 1,37L / peça); Tempo de flutuabilidade indefinido mesmo após saturação.	Capacidade de adsorção inversamente proporcional à viscosidade do óleo
Material Adsorvente	Adsorvente Orgânico	650 kg	Capacidade de adsorção = 5 a 6 vezes o peso do adsorvente em óleo.	Capacidade de adsorção inversamente proporcional à viscosidade do óleo; Pode vir a afundar após saturação;
Limpeza de costa	Bomba de baixa pressão	04	-	Uso no jateamento de ambientes contaminados por óleo
Limpeza de costa	Bomba de média e alta pressão	02	Pressão regulável	Uso no jateamento de ambientes contaminados por óleo

Tipo de Equipamento	Especificação	Quantidade	Características Operacionais	Recomendações e Limitações para Uso
Limpeza de costa	Pá metálica	05	-	Auxílio no recolhimento manual do óleo no litoral
Limpeza de costa	Rastelo	05	-	Auxílio no recolhimento manual do óleo no litoral
Limpeza de costa	Peneira	05	-	Auxílio no recolhimento manual do óleo no litoral
Limpeza de costa	Puçá	04	-	Auxílio no recolhimento manual do óleo no litoral
Outros	Soprador Portátil	01	-	Aplicação de adsorvente orgânico; Auxílio no preenchimento das câmaras de barreiras infláveis

c) Pendência 003.

“Listagem, características (tancagem em m³, etc.) e localização das embarcações extras que podem ser utilizadas para atendimento de descargas de pior caso.”

A embarcação extra da *Hidroclean – Proteção Ambiental* que poderá auxiliar na estrutura de resposta dedicada às atividades de perfuração da **OGX Petróleo e Gás** na Bacia de Campos (RJ) é a embarcação “VÍTOR I”. Esta embarcação permanecerá sob regime de prontidão, equipada e tripulada na Base Operacional de São Gonçalo (RJ), no interior da Baía de Guanabara. Suas características principais encontram-se no **ANEXO I** deste documento.

As embarcações da **Navegação São Miguel Ltda.** que poderão atuar como auxiliares na estrutura de resposta para o presente projeto são:

EMBARCAÇÃO	TANCAGEM	TIPO
SM Serra Polar (mar aberto)	3.438,72 m ³	<i>Small tanker</i>
SM Apollo (mar aberto)	3.309,42 m ³	<i>Small tanker</i>
SM Ponta Negra	1.926,80 m ³	<i>Small tanker</i>
CD Arpoador (mar aberto)	1.893,28 m ³	Chata não propulsada
Dundee	780 m ³	<i>Platform Supply Vessel</i>
Vitória (mar aberto)	N.A.	Rebocador
Camburi (mar aberto)	N.A.	Rebocador
Novo Rio (mar aberto)	N.A.	Rebocador

A carta de confirmação da **Navegação São Miguel Ltda.** para a **OGX Petróleo e Gás** indicando que as embarcações mencionadas acima poderão ser empregadas como recursos adicionais à resposta a emergência encontra-se em anexo (original em mãos e cópia em formato digital) a este documento.

d) Pendência 004.

“Procedimentos adotados pela Hidroclean para atendimento de fauna contaminada e proteção de áreas vulneráveis.”

No caso de derramamentos provenientes dos barcos de apoio em áreas próximas à costa ou no caso do monitoramento da mancha indicar a possibilidade do óleo atingir a costa, deverão ser imediatamente acionados os recursos da Hidroclean, situados nas Bases Rio de Janeiro, Santos, Vitória ou Paranaguá, conforme a localização do incidente e/ou o provável direcionamento da mancha. Estes recursos deverão ser deslocados para os pontos da costa passíveis de serem atingidos pelo óleo. A execução dos procedimentos para proteção das áreas vulneráveis ficará sob responsabilidade do Coordenador das Ações de Emergência com assistência dos especialistas da *Hidroclean – Proteção Ambiental* e deverá tomar como base o Mapa de Vulnerabilidade para o empreendimento.

Após o acionamento das Bases Operacionais da *Hidroclean – Proteção Ambiental* algumas medidas serão adotadas pelas equipes de resposta a emergência da Hidroclean, sendo estas:

- Estabelecer o possível comportamento de deslocamento da mancha nas próximas horas e estabelecer a estratégia de lançamento e posicionamento das barreiras de contenção, de forma a impedir que o óleo se disperse e atinja áreas não contaminadas, fazendo uso de:
 - Com base nas informações da localização da mancha (monitoramento aéreo);
 - Seu provável deslocamento em função das correntes de maré e ventos predominantes (condições meteoceanográficas) existentes no momento;
 - Verificação do comportamento da mesma em função da modelagem matemática de dispersão do óleo efetuada para a presente operação.
- Assim que possível a embarcação avariada (acidentes com **Embarcações de Apoio**) deverá ser cercada por barreiras de contenção para impedir a deriva e espalhamento da

mancha. Avaliar a possibilidade de cercar completamente. Caso negativo, verificar a disposição das barreiras tendo em mente a inversão da maré. O uso de barreiras e mantas absorventes no interior dos cercos é aconselhável para a absorção do poluente.

- Barreiras de contenção e/ou absorventes poderão ser utilizadas para proteger os ambientes sensíveis mais próximos a fonte. Levando sempre em consideração a variação da maré.
- O emprego de dispersão mecânica entre a fonte poluidora e os ambientes passíveis de serem impactados pode evitar que o poluente alcance as áreas não contaminadas.
- As barreiras de contenção poderão, dependendo da estratégia de proteção, ser utilizadas das seguintes formas:
 - Ancoradas na configuração em "U" de forma escalonada, tantos lances quanto sejam necessários, no sentido de deslocamento da mancha, para impedir sua progressão.
 - Ancoradas em formação angular e escalonadas, tantos lances quanto sejam necessários, para defletir o fluxo de óleo para uma margem onde o mesmo possa se recolhido.
 - Ancoradas em formação angular e escalonadas, tantos lances quanto sejam necessários, para defletir o fluxo de óleo desviando-o de uma área que se pretende proteger.
 - Em paralelo as formações de proteção poderão ser promovidos arrastes de barreiras de contenção por embarcações, em formação em "U", em operações de varredura da mancha de óleo, com o intuito de auxiliar na operação de afastamento do óleo das zonas sensíveis ou mesmo promover seu deslocamento para locais de mais fácil recolhimento.
- Nas operações de proteção serão utilizadas além de barreiras de contenção de óleo e seus suportes (*tow bar*, cabos, bóias, âncoras, etc.), barreiras de absorção e embarcações, todos disponibilizados pela *Hidroclean - Proteção Ambiental*.

Os procedimentos descritos acima poderão ser aplicados aos demais cenários no *offshore*, em que a mancha venha a alcançar à costa. A pronta-comunicação entre os integrantes da EOR e as Bases Operacionais da Hidroclean é de extrema importância para a eficiência das atividades de proteção às áreas vulneráveis ao óleo.

A *Hidroclean – Proteção Ambiental* encontra-se nas fases finais de entendimentos junto à **Fundação RIOZOO** do Município do Rio de Janeiro (RJ), objetivando a parceria por meio de um termo de compromisso e cooperação técnica. A **Fundação RIOZOO** é uma instituição que possui larga experiência no atendimento de organismos resgatados do ambiente com saúde debilitada por motivos diversos. Seus especialistas possuem ampla experiência na recuperação da saúde de organismos da fauna nacional contaminada por óleo após eventos acidentais com derramamento de óleo para o mar. O acordo inclui a capacitação dos operadores da Hidroclean por parte da Fundação nas ações preventivas, resgate, primeiros-socorros, acondicionamento e transporte adequados dos organismos até o momento de hospitalização dos mesmos.

Caso necessário, segue abaixo o contato da **Fundação RIOZOO** para esclarecimentos sobre a parceria:

Vitor Hugo
(Dir. Técnico)
Veterinário
Tel: (21) 3878-4232/4269
Cel: (21) 9490-0538

Desde já agradecemos pela oportunidade e em caso de dúvidas, estamos à disposição para prestar quaisquer esclarecimentos.

Carlos Boeckh
Diretor de Operações
CREA/RJ - 92-1-0731-8
CTF/IBAMA - 96858

Henrique Margem
Consultor Técnico
CRBio/RJ - 32.708/02
CTF/IBAMA - 196022

ANEXO I

CARACTERÍSTICAS GERAIS	
Nome da Embarcação	"FERNANDA M"
Ano de construção	1982
Classificação	ABS
Bandeira	Brasileira
Velocidade máxima	10 nós
Arqueação Bruta	216
Acomodações	10
DIMENSÕES PRINCIPAIS	
Comprimento total	30,42m
Boca Moldada	8,53m
Pontal Moldado	3,67m
Calado Máximo	2,74m
TPB	203,2t
CAPACIDADES	
Combustível	84m ³
Água potável	25m ³
Óleo Recuperado	-
Carga de convés	103t
PROPULSÃO	
Tipo	Motor Diesel
Motores Principais	2 x 450HP a 1800 rpm
Engrenagens reductoras	Disco Duplo MG 520 5:1 Serial (Std) 3L5243, (Ps) 3L5242
Geradores	2 x 440V Alternada (88KW)
NAVEGAÇÃO/COMUNICAÇÃO	
Radar, Agulha Magnética, Indicador de Ângulo do Leme, Ecobatímetro, Rádios (VHF/FM, SSB/HF), EPIRB, GPS, Global Star	

CARACTERÍSTICAS GERAIS	
Nome da Embarcação	"ECO WARRIOR"
Ano de construção	2007
Classificação	GEV
Bandeira	Brasileira
Velocidade máxima	10 nós
Arqueação Bruta	243
Acomodações	12 pessoas
DIMENSÕES PRINCIPAIS	
Comprimento total	31 m
Boca Moldada	8 m
Pontal Moldado	3,75 m
Calado Máximo	2,69 m
TPB	220,2 t
CAPACIDADES	
Combustível	52,5 m ³ (Diesel marítimo)
Água potável	31,2 m ³ (carga e consumo)
Óleo Recuperado	98,8 m ³
Carga de convés	700 kg/m ²
PROPULSÃO	
Tipo	Motor Diesel (02)
Motores Principais	02 x 375 BHP a 2100 rpm
Engrenagens redutoras	02 Caixas Redutoras MGX5114DC (3,43:1)
Geradores	02 HEIMER / Alternador Síncrono / 2 x 35KVA
NAVEGAÇÃO/COMUNICAÇÃO	
Radar, Agulha Magnética, Indicador de Ângulo do Leme, Ecobatímetro, Rádios (VHF/FM, SSB/HF), EPIRB, GPS, Global Star	

CARACTERÍSTICAS GERAIS	
Nome da Embarcação	"MARIMAR XII"
Ano de construção	1985
Classificação	GEV
Bandeira	Brasileira
Velocidade máxima	8 nós
Arqueação Bruta	120 t
Acomodações	06 pessoas
DIMENSÕES PRINCIPAIS	
Comprimento total	25,50 m
Boca Moldada	6,70 m
Pontal Moldado	3,50 m
Calado Máximo	2,89 m
TPB	82,96 t
CAPACIDADES	
Combustível	38,40 m ³ (Diesel Marítimo)
Água potável	60,26 m ³
Óleo Recuperado	-
Carga de convés	-
PROPULSÃO	
Tipo	Motor Diesel (03)
Motores Principais	01 (centro) x 404 BHP a 1800 rpm +
	02 (BB/BE) x 180 BHP a 2100 rpm
Engrenagens redutoras	03 Caixas Redutoras (4:1)
Geradores	01 / Tensão Monofásico 220VCA / 01 x 7,5 KVA +
	02 / Tensão Monofásico 220VCA / 02 x 10 KVA
NAVEGAÇÃO/COMUNICAÇÃO	
Agulha Magnética, Ecobatímetro, Navsat, GPS, Rádios (VHF/FM, SSB/HF), Global Star	

CARACTERÍSTICAS GERAIS	
Nome da Embarcação	"VÍTOR I"
Ano de construção	1973
Classificação	GEV
Bandeira	Brasileira
Velocidade máxima	10 nós
Arqueação Bruta	97
Acomodações	07
DIMENSÕES PRINCIPAIS	
Comprimento total	21m
Boca Moldada	6,72m
Pontal Moldado	3,46m
Calado Máximo	1,00
TPB	67t
CAPACIDADES	
Combustível	55m ³
Água potável	12m ³
Carga de convés	-
PROPULSÃO	
Tipo	Motor Diesel (Linha de Centro)
Motores Principais	01 x 375 BHP a 1800 rpm
Engrenagens redutoras	01 Caixa Redutora (Linha de Centro) TWIN DISC/MG 514 (6:1)
Geradores	01 Trifásico, 220VCA/60Hz/15KVA e 01 Ger. de Emergência Trifásico, 220VCA/60Hz/5KVA
NAVEGAÇÃO/COMUNICAÇÃO	
Radar, Agulha Magnética, Ecobatímetro, Rádios (VHF/FM, SSB/HF), EPIRB, GPS, Global Star	



Anexo 9-2

Análise de Vulnerabilidade

9.2. ANÁLISE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL

A análise da vulnerabilidade ambiental da Atividade de Perfuração Marítima nos Blocos BM-C-39, BM-C-40, BM-C-41, BM-C-42 e BM-C-43, Bacia de Campos, foi baseada nos resultados apresentados no Relatório de Modelagem de Dispersão de Óleo dos Blocos BM-C-39 e BM-C-41, Bacia de Campos, apresentado no Anexo 9-4. Cabe ressaltar que nenhuma das simulações realizadas leva em conta ações provenientes de Planos de Contingência e Planos de Ações Emergenciais.

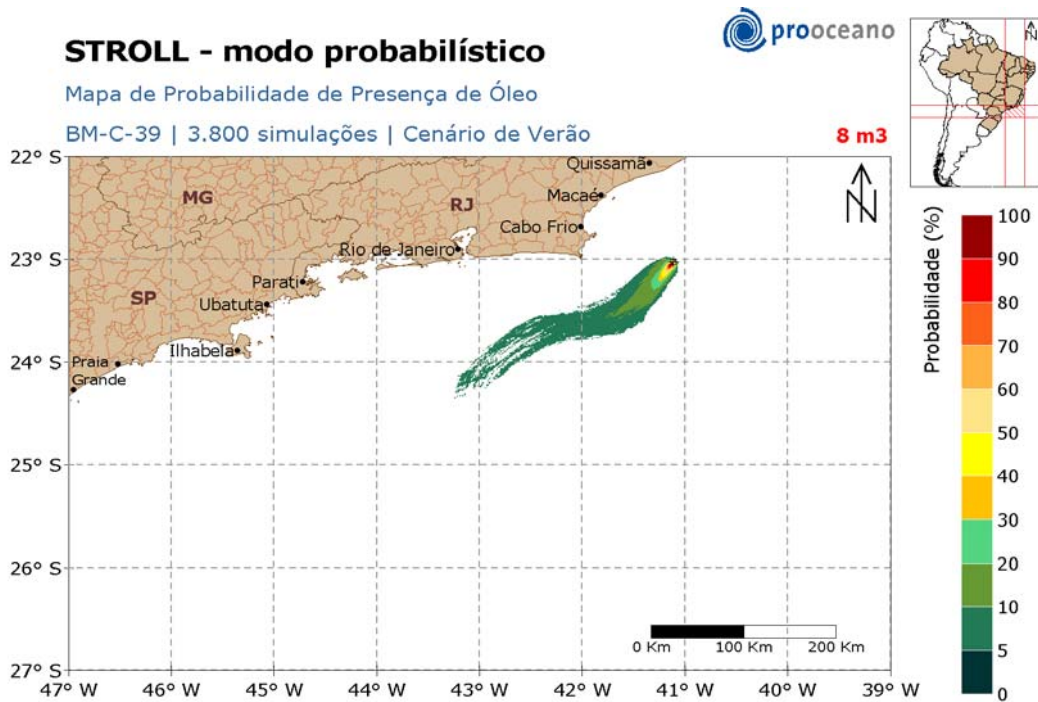
As simulações de dispersão consideraram características de óleo pesado (17 e 20°API) que ocorre nas formações que serão avaliadas durante as Atividade de Perfuração Marítima nos Blocos BM-C-39, BM-C-40, BM-C-41, BM-C-42 e BM-C-43.

A avaliação da vulnerabilidade é realizada com base nas seguintes informações: (i) resultados obtidos a partir das simulações de um potencial derramamento de óleo oriundo de uma perda de controle de poço, modelado por 30 dias e sem nenhuma ação de contenção e; (ii) sensibilidade ambiental da área possivelmente afetada pelo potencial derramamento, avaliação baseada e em conformidade com os fatores ambientais preconizados pela Resolução CONAMA nº 398, de 11 de junho de 2008.

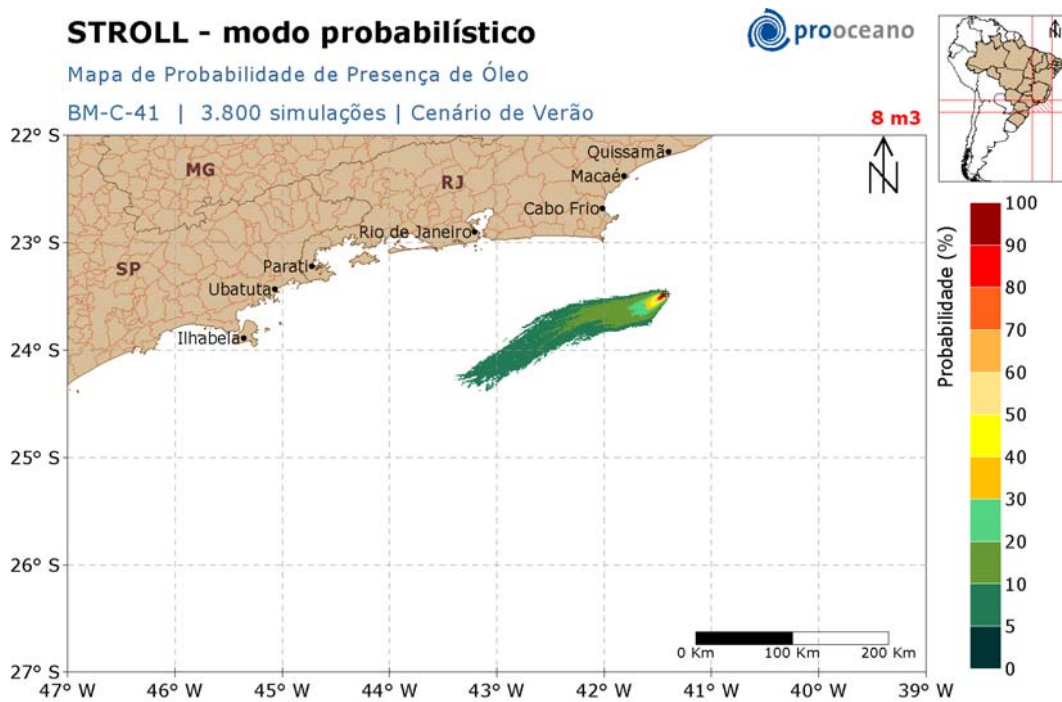
Neste contexto, buscou-se avaliar áreas que apresentam as seguintes características: (1) pontos de captação de água; (2) presença de concentrações humanas; (3) rotas de transporte marítimo; (4) áreas de importância socioeconômica; (5) áreas ecologicamente sensíveis; (6) comunidades biológicas e; (7) presença de unidades de conservação, Terras Indígenas, sítios arqueológicos e comunidades tradicionais.

A avaliação da vulnerabilidade considerou três cenários de acidentes com derramamento de óleo, utilizando-se volumes de 8 m³, 200 m³ e pior caso, por *blowout* (15.120 m³), conjugando os resultados das duas locações modeladas, tanto para o verão quanto para o inverno.

Conforme pode ser observado nos Mapas de 1 a 4, todos os acidentes modelados, com derramamento de 8 m³ (3.800 simulações para cada período), não chegam a atingir os ecossistemas costeiros, se restringindo à área oceânica confrontante aos municípios entre Cabo Frio e Rio de Janeiro (RJ).



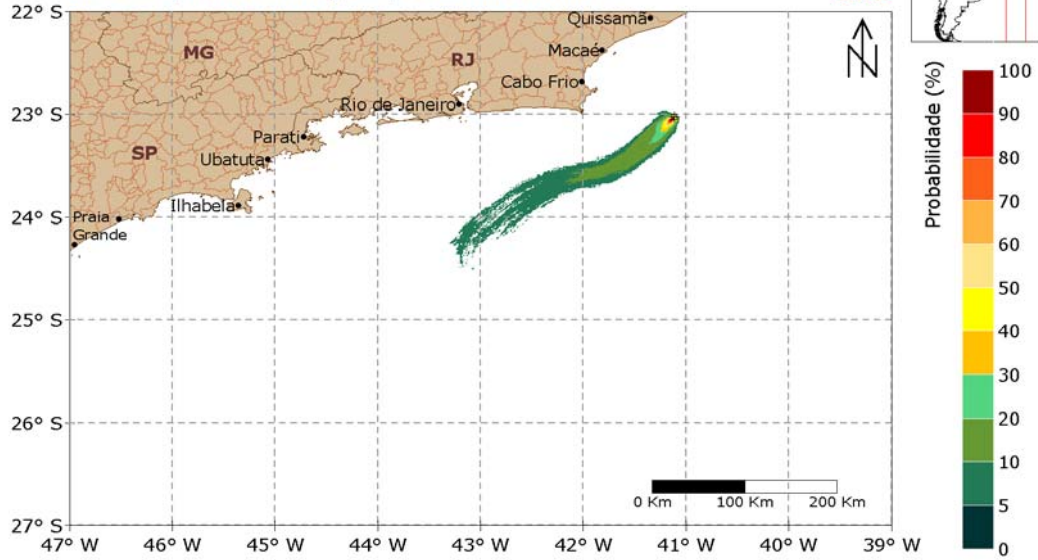
Mapa 1. Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 8 m³, no cenário de verão no Poço Maui, Bloco BM-C-39. Fonte: Proceano (2008a).



Mapa 2. Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 8 m³, no cenário de verão no Poço Waimea, Bloco BM-C-41. Fonte: Proceano (2008b).

STROLL - modo probabilístico

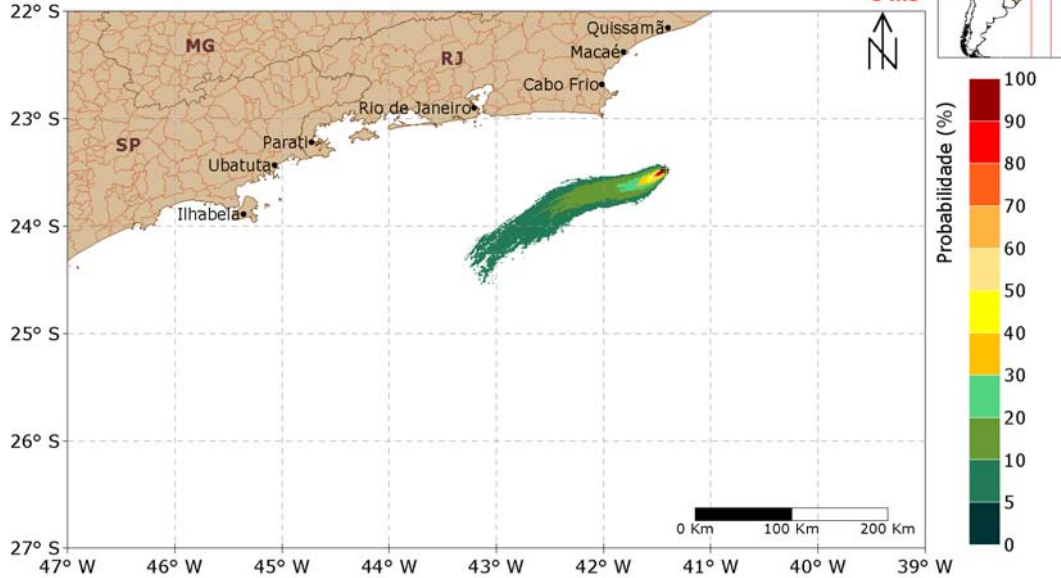
Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo
 BM-C-39 | 3.800 simulações | Cenário de Inverno



Mapa 3. Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 8 m^3 , no cenário de inverno no Poço Maui, Bloco BM-C-39. Fonte: Proceano (2008a).

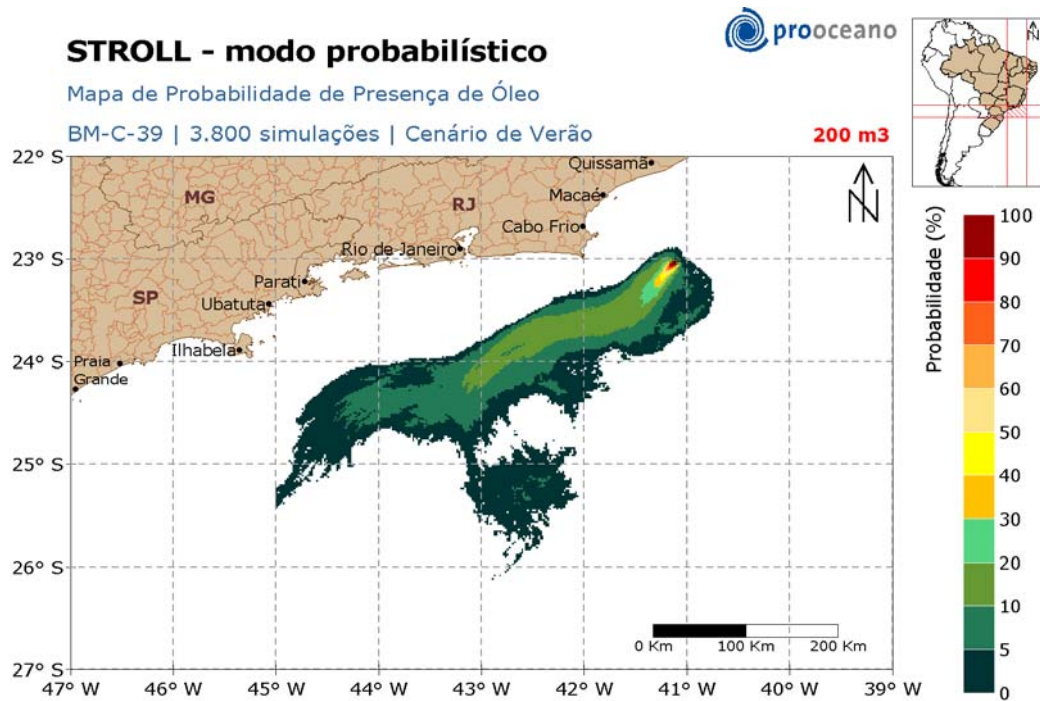
STROLL - modo probabilístico

Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo
 BM-C-41 | 3.800 simulações | Cenário de Inverno

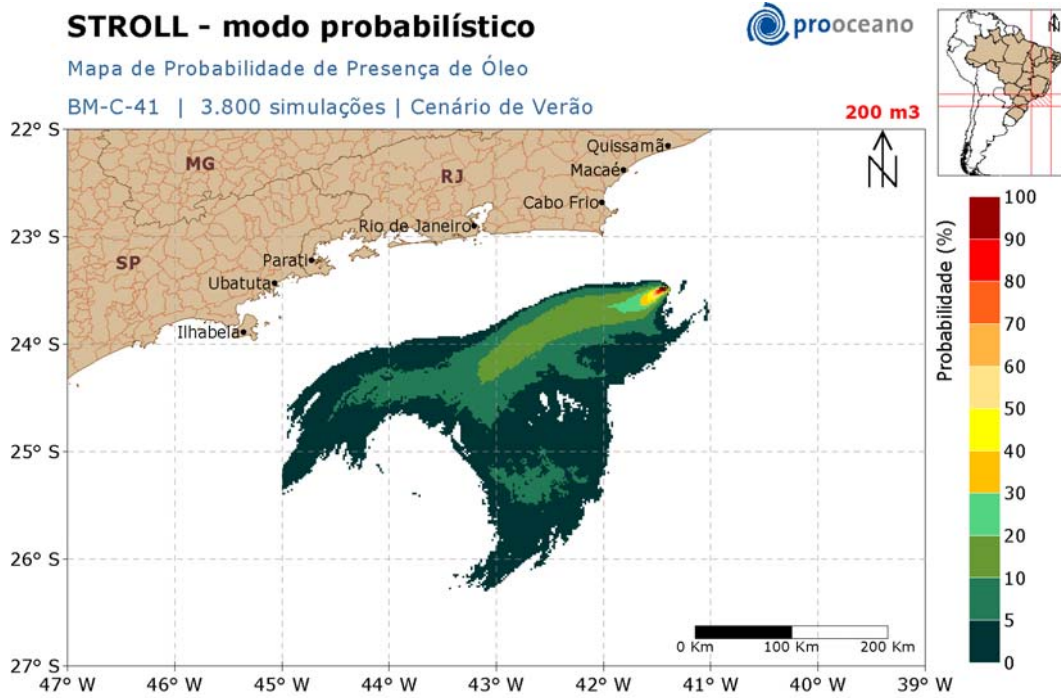


Mapa 4. Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 8 m^3 , no cenário de inverno no Poço Waimea, Bloco BM-C-41. Fonte: Proceano (2008b).

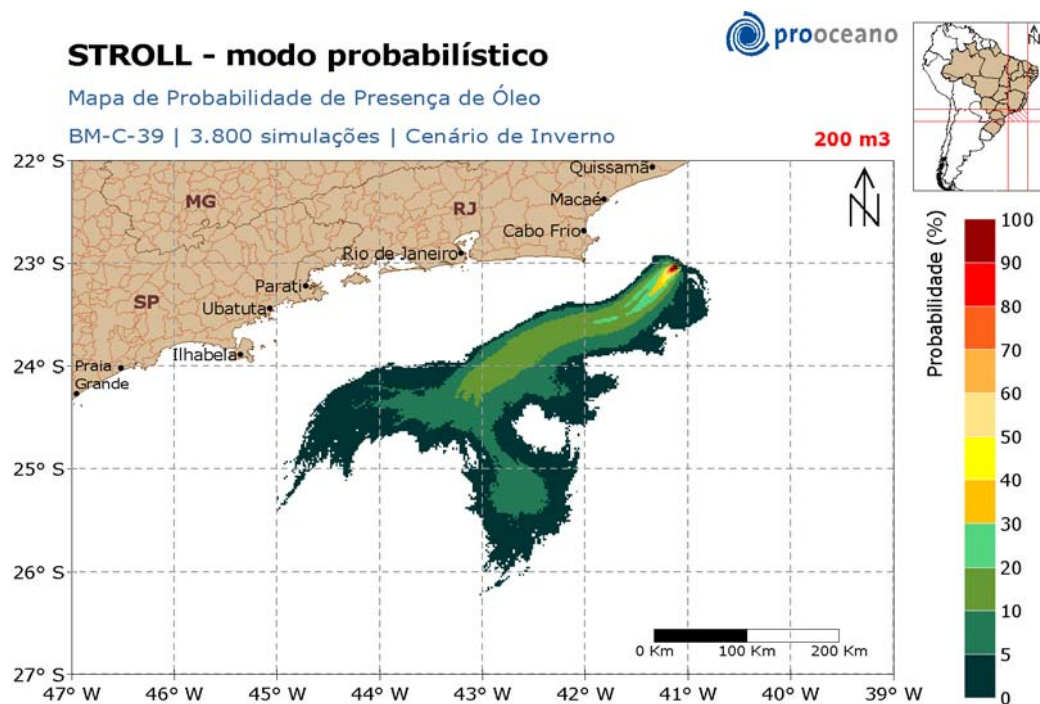
Para a modelagem de derramamento de 200 m³ (3.800 simulações para cada período) também não há toque na costa, sendo a probabilidade de chegada de óleo restrita a áreas oceânicas confrontantes aos municípios entre Cabo Frio (RJ) e Praia Grande (SP).



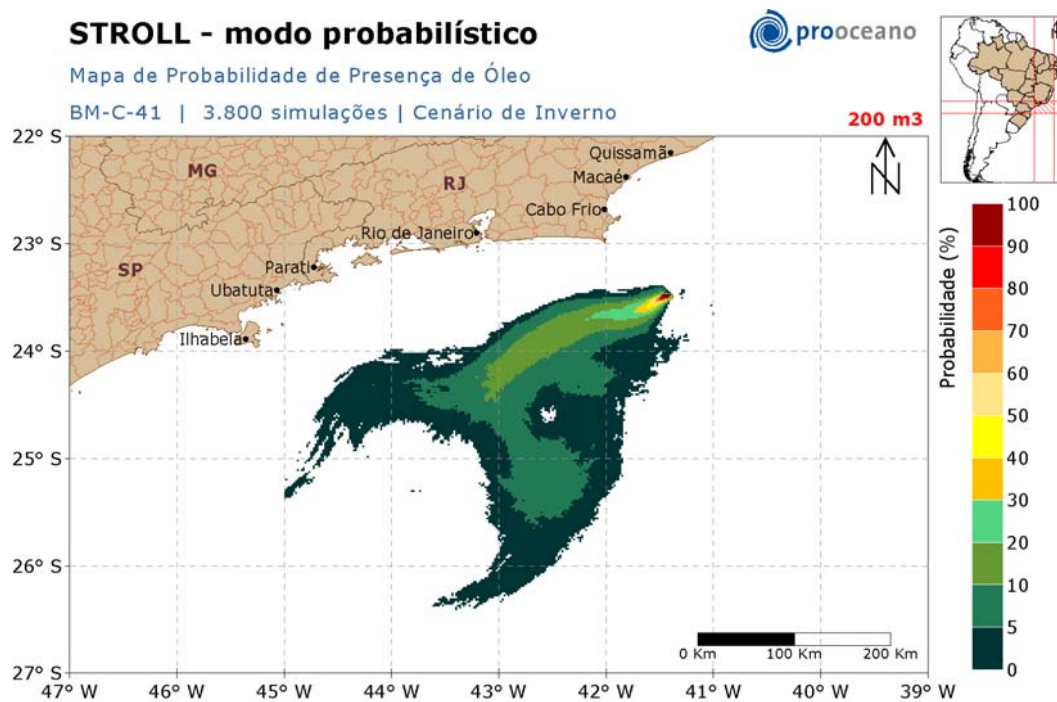
Mapa 5. Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 200 m³, no cenário de verão no Poço Maui, Bloco BM-C-39. Fonte: Proceano (2008a)..



Mapa 6. Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 200 m³, no cenário de verão no Poço Waimea, Bloco BM-C-41. Fonte: Proceano (2008b).



Mapa 7. Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 200 m³, no cenário de inverno no Poço Maui, Bloco BM-C-39. Fonte: Proceano (2008a).



Mapa 8. Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 200 m³, no cenário de inverno no Poço Waimea, Bloco BM-C-41. Fonte: Proceano (2008b).

Os Mapas 9 e 10 apresentam os contornos probabilísticos resultantes das simulações matemáticas realizadas no Bloco BM-C-39, considerando cenários de perda de controle (*blowout*) do poço Maui por 30 dias, com um volume derramado de 15.120 m³ em condições oceanográficas típicas de verão e de inverno.

STROLL - modo probabilístico

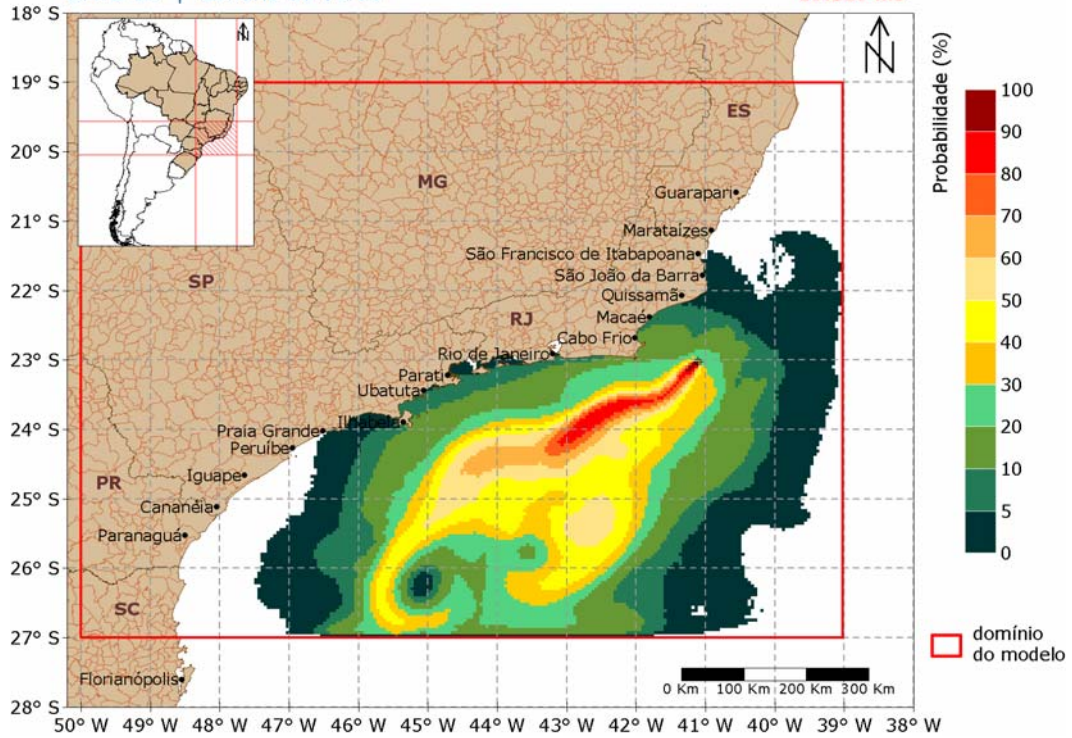


Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-39 | Cenário de Verão

15.120 m³



Mapa 9. Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de verão no Poço Maui, Bloco BM-C-39. Fonte: Proceano (2008a).

STROLL - modo probabilístico

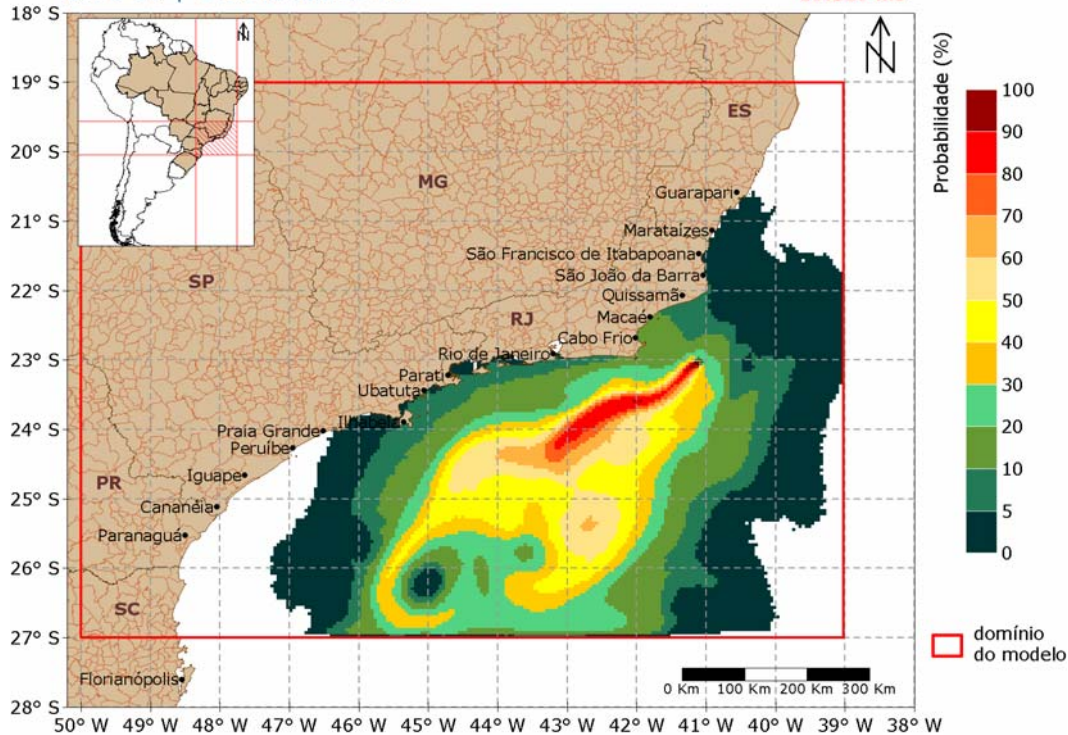


Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-39 | Cenário de Inverno

15.120 m³



Mapa 10. Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de inverno no Poço Maui, Bloco BM-C-39. Fonte: Proceano (2008a).

O Quadro 1 apresenta o volume máximo, a probabilidade de presença e o tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de toque de óleo durante um evento de *blowout* do Poço Maui, Bloco BM-C-39 nos cenários de verão e inverno.

As simulações de um evento de *blowout* do Poço Maui, Bloco BM-C-39, nos cenários de verão e inverno indicam que cerca de 30 municípios distribuídos entre os Estados do Rio de Janeiro e de São Paulo apresentam probabilidade de até 20% de serem tocados pela pluma de óleo durante um acidente de pior caso.

Os municípios capixabas de Guarapari, Anchieta, Piúma, Itapemirim, Marataízes e Presidente Kennedy (ES) apresentam baixa probabilidade de serem tocados pela pluma (< 5%), sendo que o toque ocorre num intervalo de tempo maior que 200 horas e somente para o cenário de inverno.

Para o cenário de verão, 3 municípios do fluminenses poderiam ser afetados por volumes superiores 8.000 m³ (Quissamã, Arraial do Cabo e Saquarema), enquanto os municípios de Armação dos Búzios, Cabo Frio, Arraial do Cabo, Araruama, Saquarema (RJ) e Ilhabela (SP) se

destacam por apresentar maiores probabilidades de toque (10 – 20%). Os resultados das simulações, durante o verão, indicam que não haveria toque na costa em tempo inferior a 100 horas (Quadro 1).

Quadro 1. Volume máximo, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de presença de óleo em um evento de *blowout* nos cenários de verão e inverno no Poço Maui, Bloco BM-C-39. (continua....)

	MUNICÍPIOS	VOLUME MÁXIMO (m ³)		PROBABILIDADE DE PRESENÇA (%)		TEMPO MÍNIMO DE TOQUE (h)	
		VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO
ESPIRITO SANTO	Guarapari	-	190	-	5-0	-	300-400
	Anchieta	-	733	-	5-0	-	200-300
	Piúma	-	733	-	5-0	-	200-300
	Itapemirim	-	50	-	5-0	-	200-300
	Marataízes	-	57	-	5-0	-	200-300
	Presidente Kennedy	-	514	-	5-0	-	200-300
RIO DE JANEIRO	São Francisco de Itabapoana	1354	1460	5-0	5-0	200-300	200-300
	São João da Barra	5150	9389	5-0	10-5	200-300	100-200
	Campos dos Goytacazes	5150	5939	5-0	10-5	200-300	60-100
	Quissamã	8728	5893	10-5	10-5	100-200	60-100
	Carapebus	6835	8747	10-5	10-5	100-200	60-100
	Macaé	7287	5551	10-5	20-10	100-200	100-200
	Rio das Ostras	3943	9219	10-5	20-10	100-200	100-200
	Casimiro de Abreu	5714	9283	10-5	20-10	100-200	100-200
	Armação dos Búzios	4360	9800	20-10	20-10	100-200	100-200
	Cabo Frio	4162	9800	20-10	20-10	100-200	100-200
	Arraial do Cabo	9128	9500	20-10	20-10	100-200	100-200
	Araruama	3200	9643	20-10	10-5	100-200	100-200
	Saquarema	8987	8140	20-10	10-5	100-200	100-200
	Maricá	7146	9142	10-5	10-5	100-200	100-200
	Niterói	3971	6814	10-5	10-5	100-200	100-200
	Rio de Janeiro	6602	9664	10-5	10-5	200-300	100-200
	Itaguaí	1982	2067	5-0	5-0	400-500	500-600
	Mangaratiba	4374	3223	5-0	10-5	300-400	300-400
	Angra dos Reis	4289	4176	5-0	5-0	400-500	400-500
	Ilha Grande (Angra dos Reis)	5354	9508	10-5	10-5	300-400	300-400
Parati	4176	2701	10-5	10-5	400-500	300-400	

Quadro 1. Volume máximo, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de presença de óleo em um evento de *blowout* nos cenários de verão e inverno no Poço Maui, Bloco BM-C-39. (continuação)

	MUNICÍPIOS	VOLUME MÁXIMO (m ³)		PROBABILIDADE DE PRESENÇA (%)		TEMPO MÍNIMO DE TOQUE (h)	
		VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO
SÃO PAULO	Ubatuba	6398	3372	10-5	10-5	400-500	400-500
	Caraguatatuba	5163	5058	10-5	10-5	400-500	400-500
	Ilhabela	4705	5058	20-10	10-5	400-500	400-500
	São Sebastião	3929	5058	10-5	10-5	400-500	400-500
	Bertioga	2243	1516	5-0	5-0	500-600	500-600
	Guarujá	1855	1904	5-0	5-0	500-600	600-720
	Santos	1290	1234	5-0	5-0	600-720	600-720
	São Vicente	2384	1410	5-0	5-0	600-720	720-900
	Praia Grande	2384	2335	5-0	5-0	600-720	720-900

Fonte: Prooceano (2008a)

Considerando apenas o cenário de inverno, 12 municípios do Estado do Rio de Janeiro poderiam ser afetados por volumes superiores a 8.000 m³ (São João da Barra, Carapebus, Rio das Ostras, Casimiro de Abreu, Armação dos Búzios, Cabo Frio, Arraial do Cabo, Araruama, Saquarema, Maricá, Rio de Janeiro e Angra dos Reis (Ilha Grande)). Os municípios de Macaé, Rio das Ostras, Casimiro de Abreu, Cabo Frio, Armação dos Búzios e Arraial do Cabo apresentaram a maior probabilidade de toque (10 – 20%). Entre os municípios potencialmente afetados, apenas Campos dos Goytacazes, Quissamã e Carapebus apresentam toque na costa em tempo inferior a 100 horas (Quadro 1).

Os Mapas 11 e 12 apresentam os contornos probabilísticos resultantes das simulações matemáticas realizadas no Bloco BM-C-41, considerando cenários de perda de controle (*blowout*) do poço Waimea por 30 dias, com um volume derramado de 15.120 m³ em condições oceanográficas típicas de verão e de inverno.

STROLL - modo probabilístico

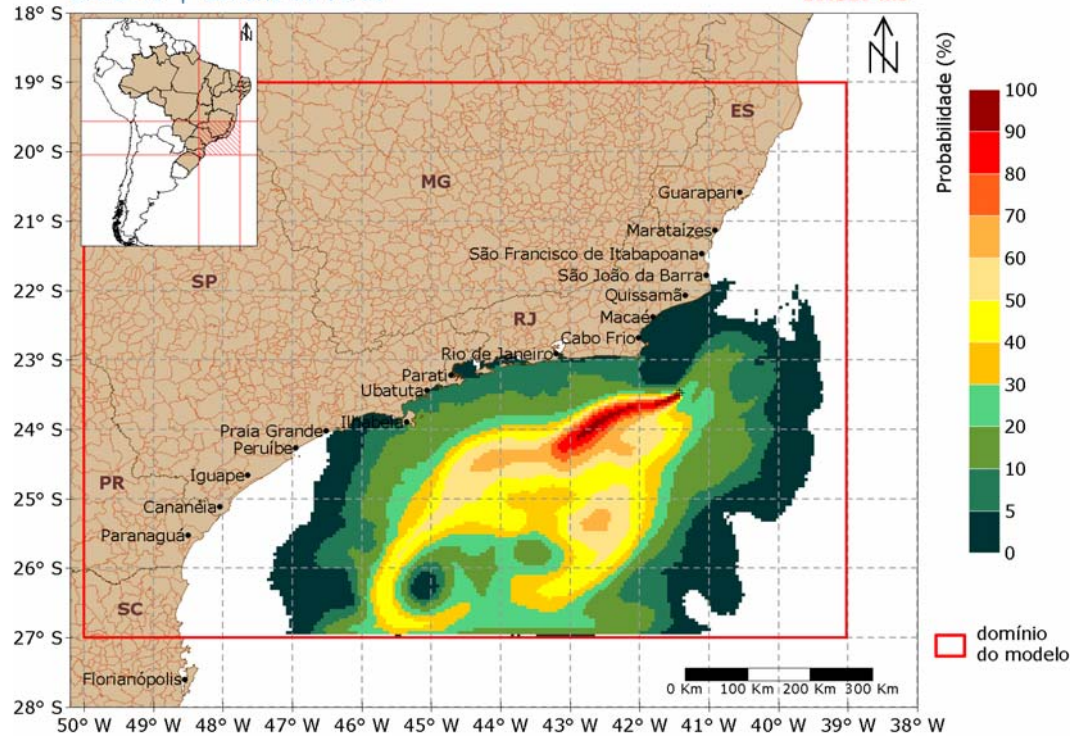


Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-41 | Cenário de Verão

15.120 m³



Mapa 11. Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de verão no Poço Waimea, Bloco BM-C-41. Fonte: Prooceano (2008b).

STROLL - modo probabilístico

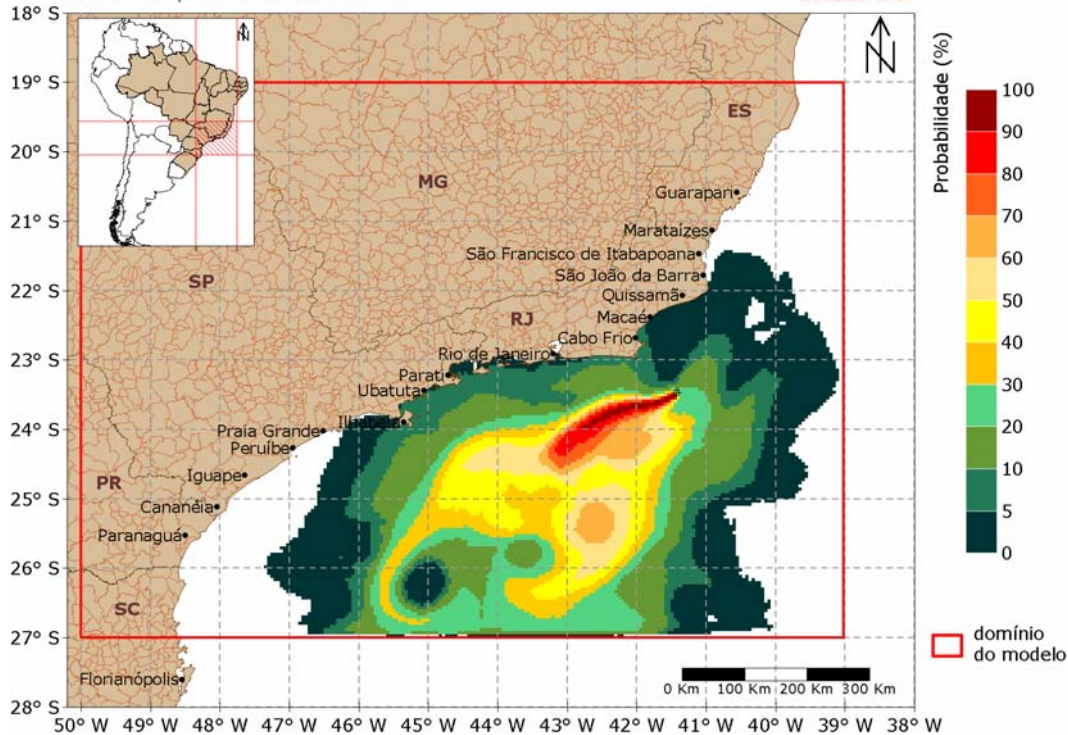


Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-41 | Cenário de Inverno

15.120 m³



Mapa 12. Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de inverno no Poço Waimea, Bloco BM-C-41. Fonte: Proceano (2008b).

O Quadro 2 apresenta o volume máximo, a probabilidade de presença e o tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de toque de óleo em um evento de *blowout* do Poço Waimea, Bloco BM-C-41, nos cenários de verão e inverno.

As simulações de um *blowout* do poço Waimea, Bloco BM-C-41, nos cenários de verão e inverno indicam que 28 municípios distribuídos entre o Rio de Janeiro e São Paulo apresentam probabilidade de até 10% de serem tocados pela pluma de óleo durante um acidente de pior caso. O município de Ilhabela é o que apresenta maior probabilidade de toque (< 20%) mas apenas para o cenário de verão.

Considerando apenas o cenário de verão, 3 municípios do Estado do Rio de Janeiro poderiam ser afetados por volumes superiores a 8.000 m³ sendo eles Cabo Frio, Arraial do Cabo e Saquarema. Os resultados das simulações, durante o verão, indicam que não haveria toque na costa em tempo inferior a 100 horas (Quadro 2).

Para o cenário de inverno, somente o município de Armação dos Búzios poderia ser afetado por volumes superiores a 8.000 m³. Para todos os municípios potencialmente afetados a

probabilidade de toque é inferior a 10%. O tempo mínimo de chegada de óleo na costa é maior que 100 horas, com exceção do município de Arraial do Cabo (60 a 100 horas).

Quadro 2. Volume máximo, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de presença de óleo em um evento de *blowout* nos cenários de verão e inverno no Poço Waimea, Bloco BM-C-41.

	MUNICÍPIOS	VOLUME MÁXIMO (m ³)		PROBABILIDADE DE PRESENÇA (%)		TEMPO MÍNIMO DE TOQUE (h)	
		VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO
RIO DE JANEIRO	São João da Barra	1520	2024	5-0	5-0	400-500	300-400
	Campos dos Goytacazes	1951	2963	5-0	5-0	300-400	200-300
	Quissamã	7406	6311	5-0	5-0	300-400	100-200
	Carapebus	7400	3574	5-0	5-0	300-400	100-200
	Macaé	7750	7105	5-0	5-0	200-300	100-200
	Rio das Ostras	2300	5665	5-0	10-5	200-300	100-200
	Casimiro de Abreu	1015	4240	5-0	10-5	200-300	100-200
	Armação dos Búzios	3942	8011	5-0	10-5	100-200	100-200
	Cabo Frio	8585	5445	10-5	10-5	100-200	100-200
	Arraial do Cabo	9987	6000	10-5	10-5	100-200	60-100
	Araruama	6800	5700	5-0	10-5	200-300	100-200
	Saquarema	8987	7621	5-0	10-5	100-200	100-200
	Maricá	4415	4584	5-0	10-5	100-200	200-300
	Niterói	6358	3681	5-0	5-0	100-200	200-300
	Rio de Janeiro	6100	7827	10-5	10-5	200-300	200-300
	Itaguaí	1350	3063	5-0	5-0	300-400	400-500
	Mangaratiba	3905	4068	5-0	5-0	300-400	400-500
	Angra dos Reis	3905	4075	5-0	5-0	300-400	500-600
	Ilha Grande (Angra dos Reis)	4790	7378	10-5	10-5	300-400	400-500
	Parati	2766	5494	10-5	10-5	300-400	400-500
SÃO PAULO	Ubatuba	3483	6848	10-5	10-5	400-500	400-500
	Caraguatatuba	4975	3608	10-5	10-5	400-500	500-600
	Ilhabela	3792	5629	20-10	10-5	300-400	400-500
	São Sebastião	3788	3766	10-5	10-5	400-500	500-600
	Bertioga	1807	867	5-0	5-0	500-600	600-720
	Guarujá	873	858	5-0	5-0	500-600	600-720
	Santos	1425	-	5-0	-	600-720	-
	São Vicente	1425	-	5-0	-	600-720	-
	Praia Grande	1086	-	5-0	-	600-720	-

Fonte: Prooceano (2008b).

O Mapa de Vulnerabilidade ambiental, apresentado no Mapa 13, identifica as características consideradas na análise de vulnerabilidade ambiental das áreas potencialmente passíveis de serem atingidas pelo óleo derramado.

A delimitação da área afetada pelo acidente modelado foi estabelecida de acordo com os limites conjugados das plumas de verão e inverno dos Blocos BM-C-39 e BM-C-41, abrangendo todos os locais passíveis de serem atingidos em caso de acidente durante as atividades de perfuração marítima desta atividade, considerando um vazamento ao longo de 30 dias, com o máximo de vazão, sem acionamento de qualquer medida de contingência.

Segundo critérios estabelecidos pela *South Pacific Applied Geoscience Commission* (Kaly *et al.*, 1999), que sumariza o Índice de Vulnerabilidade Ambiental de perfis ambientais sensíveis a alterações em função de ação antropogênica, de eventos naturais ou astronômicos, é recomendável avaliar a probabilidade de interferência em determinado fator ambiental em sete escalas. Estas escalas consideram uma quantidade razoável de adaptações de avaliação entre os valores possíveis da causa de interferência. Desta maneira, podem ser elaboradas respostas binárias (“sim” ou “não”) para cada um dos questionamentos que a Comissão apresenta. Os limites de um a sete variam de menor (1) à maior (7) interferência possível, com variáveis intermediárias de significativamente menor (2) ou maior (6) que a média e levemente menor (3) ou maior (5) que a média. No entanto, segundo o próprio documento, esta consideração de escalas também permite a aproximação de um intervalo central, na qual podem-se obter os conceitos bem conhecidos de média, máximo (alto) e mínimo (baixo), utilizados para ancorar as respostas a um dado não numérico.

Cabe ainda ressaltar que a vulnerabilidade de determinado fator é definida em função da potencialidade deste fator responder adversamente à ocorrência de um evento impactante, avaliando-se sua sensibilidade (características intrínsecas do fator que tornam necessária sua conservação ou preservação) e o grau de ocorrência do evento (1 a 7, ou baixa, média e alta, ou ainda, qualquer outra definição de intervalos de escala que exprima variabilidade de graus).

Em estudos que avaliam os impactos ambientais de atividades antrópicas, a sensibilidade do fator é definida como alta, média e baixa, utilizando-se dados de literatura nacional e internacional.

No caso de uma atividade de exploração de petróleo, consideram-se os intervalos de probabilidade (de 0 a 100%) de toque da pluma de pior caso em determinado ecossistema ou recurso (fator). Desta forma, para esta análise adotou-se a metodologia simples e estabelecida de escalonar os limites em três intervalos: baixo, médio e alto, adotando-se, para isso, os intervalos de 0 a 30%, 30 a 70% e 70 a 100%, conforme apresentado no Quadro 3, a seguir.

Quadro 3. Critérios para a avaliação da vulnerabilidade ambiental.

		PROBABILIDADE		
		Baixa (0 – 30%)	Média (30 – 70%)	Alta (> 70%)
SENSIBILIDADE	Baixa	Baixa	Baixa	Média
	Média	Média	Média	Alta
	Alta	Média	Alta	Alta

Pode-se, então, concluir que, de modo geral, a alta probabilidade de alcance de óleo incidindo sobre um fator ambiental de alta sensibilidade apresenta alta vulnerabilidade. O balanço entre alta probabilidade e baixa sensibilidade, ou o contrário (alta sensibilidade e baixa probabilidade), indica média vulnerabilidade. Finalmente, baixa e média probabilidades de alcance incidindo sobre fatores ambientais de baixa sensibilidade significam baixa vulnerabilidade.

1 – Pontos de Captação de Água

A Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, localizada no município de Angra dos Reis (RJ), capta água do mar para seu sistema de resfriamento. Esta tomada de água está localizada na enseada de Itaorna que apresenta baixa probabilidade de toque por óleo, no entanto sua alta sensibilidade caracteriza este fator como de média vulnerabilidade ambiental.

2 - Presença de Concentrações Humanas

Desde o primeiro instante de um derramamento do óleo, começa a se formar uma pluma de vapor de hidrocarbonetos (*smog*), que atinge sua concentração máxima somente após o final do incidente, quando todo o óleo já se encontra exposto ao tempo. O *smog* é o resultado da interação da luz com os constituintes da atmosfera. Há inúmeras espécies de oxidantes nesta pluma.

Os efeitos característicos da pluma de *smog* sobre os seres humanos são: irritação da garganta e dos olhos, sensação de odores e redução da visibilidade, podendo causar, ainda, danos aos vegetais e animais (Wark *et al.*, 1998). Os efeitos da pluma de *smog* sobre a saúde humana podem ser amplos, visto que há formação de partículas finas, inaláveis, de ácidos (como o ácido sulfúrico e o ácido nítrico) e formação de ozônio, assim como de dióxido de nitrogênio, o qual, ao sofrer fotodissociação e em combinação com os VOC's e o ozônio, cria condições para a

geração de uma grande variedade de poluentes. Alguns deles, como o radical nitrato, os nitroarenos e os nitrosaminos, podem causar mutações biológicas (Arya, 1999).

Assim sendo, por conta da possibilidade de formação de *smog* e de seus efeitos na saúde humana, para esta análise de vulnerabilidade, as aglomerações humanas potencialmente afetadas pelo vazamento (população residente na porção do litoral atingida pela pluma e os trabalhadores das unidades de perfuração e/ou produção) foram classificadas, para fins desta análise, como um fator ambiental de alta sensibilidade.

Em função das Atividades de E&P, atualmente existem 41 Unidades Estacionárias de Produção (UEP's) distribuídas entre as Bacias de Campos e Santos, como pode ser observado no Mapa de Vulnerabilidade (Mapa 13).

Deste total, 40 encontram-se localizadas em áreas com baixa probabilidade de serem afetadas por um acidente de derramamento de óleo de pior caso, no entanto, em função da alta sensibilidade deste fator ambiental, estas áreas são consideradas de média vulnerabilidade ambiental.

Quanto às atividades de perfuração e desenvolvimento, estas ocorrem de maneira intermitente, em diversos blocos ao longo da costa brasileira, de acordo com os planejamentos de exploração das empresas petrolíferas, não sendo possível, portanto, plotar a sua posição, em mapa, em nenhum momento específico.

No caso de um acidente de grandes proporções, as atividades das unidades poderão ter sua rotina alterada. Desta forma, as aglomerações humanas presentes nas UEP's devem ser objeto de atenção das medidas do Plano de Emergência Individual. Ressalta-se, ainda, que a alteração de rotina das plataformas pode acarretar posteriores prejuízos econômicos.

Na região costeira consideraram-se como de média vulnerabilidade ambiental as aglomerações urbanas localizadas nos municípios capixabas de Guarapari, Anchieta, Piúma, Itapemirim, Marataízes e Presidente Kennedy; nos municípios fluminenses de São Francisco de Itabapoana, São João da Barra, Campos dos Goytacazes, Quissamã, Carapebus, Macaé, Rio das Ostras, Casimiro de Abreu, Armação dos Búzios, Cabo Frio, Arraial do Cabo, Araruama, Saquarema, Maricá, Niterói, Rio de Janeiro, Itaguaí, Mangaratiba, Angra dos Reis (incluindo Ilha Grande), e Parati; e nos municípios paulistas de Ubatuba, Caraguatatuba, Ilhabela, São Sebastião, Bertioga, Guarujá, Santos, São Vicente e Praia Grande, uma vez que, nesta área, a probabilidade de toque é baixa.

3 - Rotas de Transporte Marítimo

Importantes regiões portuárias, para as quais convergem as principais rotas de transporte marítimo na região das Bacias de Campos e de Santos, se encontram na região potencialmente afetada por um acidente de pior caso com derramamento de óleo. Assim, o tráfego marítimo da região está relacionado às mais variadas mercadorias, destacando-se granéis sólidos e líquidos, cargas gerais, veículos, operações de apoio às atividades de petróleo, mercadorias em *containers* refrigerados, granito, produtos siderúrgicos, motores, sal, soja, trigo, pesca artesanal e industrial, entre outros. Tais atividades envolvem a circulação de embarcações de porte e tipos diversos.

Cerca de 10 portos poderiam ser afetados pela mancha de óleo de um acidente de grandes proporções dentre os quais se destacam o Porto do Rio de Janeiro com movimentação de carga geral, *containers*, produtos siderúrgicos e também turismo; e o Porto de Santos com movimentação de graneis (sólidos, líquidos e gás), carga geral, *containers*, produtos siderúrgicos e também turismo.

Além disso, nesta região é registrada a presença de terminais destinados exclusivamente às demandas de apoio às atividades da indústria de petróleo *offshore* para os quais são registradas rotas de transporte marítimo significativas, como o Porto de Imbetiba, em Macaé; o Terminal Marítimo Almirante Maximiano Fonseca (TEBIG), na Baía da Ilha Grande; e o Terminal Marítimo Almirante Barroso (TEBAR), localizado em São Sebastião.

As rotas mais vulneráveis ambientalmente seriam as que ligam a base marítima de apoio (Nitshore, Niterói – RJ), e as bases da empresa de suporte à emergência aos blocos BM-C-39, BM-C-40, BM-C-41, BM-C-42 e BM-C-43, uma vez que cruzam as áreas de maior probabilidade de toque por óleo localizadas nas proximidades dos blocos.

Assim, no caso da ocorrência de derramamento acidental de óleo, podem-se prever interferências diretas sobre o tráfego de embarcações na região afetada pela pluma, com o deslocamento desta podendo, eventualmente, determinar alterações nas rotas de navegação. Isto, por sua vez, pode acarretar eventuais aumentos de percurso. Desta forma, a média sensibilidade deste fator, aliada à probabilidade baixa a alta de alcance de óleo, caracteriza estas rotas como de média a alta vulnerabilidade ambiental.

Cabe destacar que a infra-estrutura portuária também poderia ser afetada, em decorrência das possíveis modificações de rotas de embarcações, uma vez que estas poderiam vir a demandar outros portos que não os usualmente utilizados. Esta alteração de itinerários poderia ocasionar a sobrecarga de alguns portos.

Além disso, no caso de um acidente de grandes proporções, os portos mais próximos do local do acidente poderiam vir a sofrer uma pressão adicional sobre sua infra-estrutura, em decorrência do afluxo das embarcações extras que vierem a participar das operações de contenção da pluma.

4 - Áreas de Importância Socioeconômica

No caso da ocorrência de um acidente de grandes proporções, poderia haver interferências com as modalidades de pesca costeira e oceânica, já que a presença da pluma de óleo pode atuar diretamente sobre os estoques pesqueiros, e assim, interferir indiretamente na realização destas atividades, caracterizadas como de alta sensibilidade ambiental.

Neste caso, as áreas mais vulneráveis seriam aquelas com maior probabilidade de alcance da pluma. Para a modalidade de pesca costeira de recursos demersais pescados com redes de emalhar de fundo e arrastos até 200 m, os resultados da simulação conferem de média a alta vulnerabilidade a faixa marítima ao largo dos municípios de Guarapari (ES) e Praia Grande (SP).

As áreas de pesca de recursos pelágicos utilizando vara e isca-viva e de recursos demersais utilizando espinhel de fundo, concentradas entre 100 e 1.000 m, apresentam média a alta vulnerabilidade entre a região ao largo de Cabo Frio (RJ) e Ilha Comprida (SP).

A modalidade de pesca concentrada acima dos 200 m, que utiliza espinhel e redes de emalhar de superfície para a captura de recursos demersais, mostra-se como de média a alta vulnerabilidade, ao longo de toda a área afetada pela conjugação das plumas das modelagens. A vulnerabilidade ambiental desta modalidade de pesca diminuiu em direção ao mar aberto, após a isóbata de 2.000 m.

Com relação às atividades turísticas, a vulnerabilidade ambiental deste setor da economia foi caracterizado como de média, em função da baixa probabilidade de toque por óleo. No caso da ocorrência de um derramamento acidental de óleo desta magnitude, as áreas passíveis de serem afetadas incluem a região costeira entre os municípios de Guarapari (ES) e Praia Grande (SP). Todo esse litoral apresenta regiões de grande concentração de atividades turísticas dentre as quais se destacam o litoral sul do Estado do Espírito Santo, a Região dos Lagos (RJ) e a Costa Verde, incluindo os municípios de Mangaratiba (RJ) a São Sebastião (SP).

5 - Áreas Ecologicamente Sensíveis

Quando o petróleo é derramado na água do mar, vários processos físicos, químicos e biológicos podem ocorrer: o espalhamento, que ocorre na interface água-ar e é caracterizado pela formação de um filme superficial; a evaporação; a solubilização; a emulsificação, caracterizada pela agregação e pelo aumento do peso e volume das partículas; o fracionamento mecânico e a submersão, que consistem, respectivamente, na “quebra” e no “afundamento” das partículas, devido a seu aumento de volume; a foto-oxidação, que pode transformar os hidrocarbonetos em outras substâncias (p.ex. aldeídos) e a biodegradação, que consiste na degradação do petróleo por ação bacteriana.

Os efeitos do petróleo nos ecossistemas marinhos dependem de uma série de variáveis, tais como o tipo e a quantidade do óleo lançado na água e características físico-químicas e biológicas dos locais atingidos. De um modo geral, as regiões mais abrigadas tendem a reter mais petróleo do que as áreas mais abertas, que permitem uma dispersão mais rápida.

A caracterização da sensibilidade de um ecossistema contempla a classificação da costa e os recursos biológicos e socioeconômicos do local, onde os pontos considerados são: (i) persistência natural do óleo no ambiente; (ii) granulometria do substrato; (iii) grau de dificuldade para a limpeza da área; (iv) presença de espécies de animais e plantas raros e sensíveis ao óleo e; (v) existência de áreas específicas de sensibilidade ou valor relacionadas ao seu uso.

Os ecossistemas são classificados, então, de acordo com a sua sensibilidade, em uma escala crescente, variando de ambientes menos sensíveis (1) – como costões rochosos expostos - a mais sensíveis (10) – como manguezais e estuários (NOAA, 2002).

No cenário de pior caso modelado para um acidente por derramamento de óleo, os ambientes existentes na área afetada apresentam de baixa a média vulnerabilidade, considerando a sua sensibilidade intrínseca e a baixa probabilidade de toque do óleo nesta porção do litoral.

Assim, considerando-se a probabilidade de toque da pluma, costões rochosos (1), plataformas erodidas (2) e praias de areia fina a média (3) – que apresentam baixa sensibilidade – configuram-se como ecossistemas de baixa vulnerabilidade; praias de areia grossa (4), de média sensibilidade, configuram-se como de média vulnerabilidade; e lagoas, áreas alagadas, manguezais e estuários (10), ecossistemas de alta sensibilidade, configuram-se como de média vulnerabilidade.

Algumas áreas da plataforma continental sul-fluminense e paulista e de transição com o talude continental apresentam como de alta sensibilidade em função da ocorrência do fenômeno

da ressurgência e da formação de meandros e vórtices associados ao fluxo da Corrente do Brasil. Esses eventos oceanográficos disponibilizam nutrientes para a zona fótica, enriquecendo a biota local. A extensão deste fenômeno alcança regiões da plataforma continental desde Cabo de São Tomé (RJ) até Santos (SP), influenciando de forma significativa a dinâmica ambiental da região (Campos *et al.*, 1999; Rodrigues & Lorenzetti, 2001). Assim essa região configura-se como de média a alta vulnerabilidade, em função da probabilidade de toque por óleo.

6 - Comunidades Biológicas

O derramamento de óleo no ambiente pode afetar os organismos direta (contato físico e ingestão do óleo) ou indiretamente (alteração do habitat e ingestão de alimento contaminado). Ao ser derramado na água, o óleo sofre contínuos processos de intemperização que atuam na alteração da composição química, física, biológica, comportamento, vias de exposição e toxicidade do produto. Estes processos são diretamente influenciados pelas condições locais como correntes, profundidade, regime de marés, energia de ondas, temperatura, intensidade luminosa e ventos. A progressão, duração e o resultado dessas transformações dependem das propriedades e composição do óleo e da interação de mecanismos físicos, químicos e biológicos (Patin, 1999).

A combinação dos processos de intemperização, a composição química do óleo e as condições ambientais resultam na transferência deste óleo para a coluna d'água (via diluição dos compostos) e para o sedimento, quando aderido a material particulado em suspensão ou por aplicação de produtos químicos (dispersantes, emulsificadores) como forma de combate à mancha.

Além disso, a sensibilidade das comunidades biológicas para derramamentos de óleo é extremamente variável em função dos organismos e seus estágios de vida. Em geral, organismos jovens são mais sensíveis que os adultos (Scholz *et al.*, 2001).

Em relação à **comunidade planctônica**, para as espécies do bacterioplâncton que degradam hidrocarbonetos, costuma ocorrer um incremento em densidade das espécies carbonoclásticas. O aumento na densidade destes organismos evidencia a ocorrência de incremento na biodegradação de hidrocarbonetos na coluna d'água (Johansson *et al.*, 1980; Scholz *et al.*, 2001)

As algas unicelulares que constituem o **fitoplâncton**, em geral, podem assimilar e metabolizar tanto hidrocarbonetos saturados quanto aromáticos (Scholz *et al.*, 2001). A sensibilidade destes organismos a hidrocarbonetos também varia entre os grupos fitoplanctônicos,

sendo por exemplo os organismos do nanoplâncton (2-20 μm) mais sensíveis que diatomáceas cêntricas do microfitoplâncton ($> 20 \mu\text{m}$). Como o tempo de geração destas algas é muito curto (9-12 horas), os impactos nestas populações provavelmente são efêmeros (NAS, 1985).

Segundo NAS (1985), o **zooplâncton** é sensível a hidrocarbonetos e efeitos tóxicos têm sido reportados a concentrações entre 0,05 mg/L e 9,40 mg/L. Efeitos de curta escala incluem decréscimo na biomassa (geralmente temporário), bem como redução das taxas de reprodução e alimentação. Alguns grupos como os tintinídeos podem apresentar um incremento em densidade, em resposta ao aumento do suplemento alimentar, que, neste caso, são as bactérias e a fração menor do fitoplâncton (Lee *et al.*, 1987 *apud* Scholz *et al.*, 2001).

No **ictioplâncton**, composto de ovos e larvas de peixes, os efeitos tóxicos do óleo têm sido reportados para concentrações relativamente baixas de hidrocarbonetos, entre 1 ppm e 10 ppm, sendo as larvas de peixes mais sensíveis que os ovos (Kuhnhold *et al.*, 1978).

As regiões próximas à linha de costa, especialmente regiões estuarinas como a Baía de Guanabara e os estuários de Santos, São Vicente e Bertioga, apresentam maiores concentração de organismos planctônicos e alta sensibilidade ambiental.

Já em regiões nerítico-oceânicas, a alta sensibilidade pode ser minimizada pela menor concentração de organismos e alta capacidade de recuperação, principalmente nas regiões externas à plataforma continental (Bishop, 1983).

No entanto, áreas onde os processos oceanográficos disponibilizam nutrientes nas camadas superficiais da coluna d'água são de extrema importância para os organismos planctônicos. Fenômenos como a ressurgência de borda de plataforma causada por vórtices frontais e meandros da Corrente do Brasil também propiciam o aumento da densidade planctônica. Adicionalmente, processos biológicos como a desova e o recrutamento dependem fortemente da advecção sazonal de águas ricas em nutrientes, para garantir a o sucesso de ovos e larvas (Matsuura *et al.*, 1992). Assim, estas áreas apresentam alta sensibilidade ambiental

As **comunidades bentônicas** das regiões costeiras apresentam uma alta sensibilidade ambiental baseada, entre outros fatores, na presença de espécies importância econômica, como por exemplo o mexilhão (*Perna perna*), assim como do registro de espécies ameaçadas, como o octocoral orelha-de-elefante (*Phyllogorgia dilatata*).

Para as comunidades bentônicas da plataforma continental e de águas profundas, a sensibilidade é também avaliada como alta, principalmente pelo pouco conhecimento sobre tais comunidades, como os bancos de corais de águas profundas e os bancos de *Laminaria* sp. Pode-se ainda registrar a presença de algumas espécies de importância econômica, como as algas calcárias encontradas o litoral do Espírito Santo.

Tanto para a região costeira quanto para a região oceânica a probabilidade de toque por óleo é baixa. Na região oceânica, em função da profundidade da coluna d'água, a comunidade bentônica só seria afetada em função do afundamento de pelotas de óleo resultantes do processo de intemperização. Assim, a comunidade bentônica apresenta média vulnerabilidade ambiental.

Entre os **peixes demersais** e **pequenos pelágicos** de águas profundas (mais de 200 m de profundidade), destaca-se a presença de espécies eminentemente oceânicas, algumas também de alto valor econômico, permitindo o desenvolvimento de atividades pesqueiras em regiões de até 2.000 m de profundidade. Os recursos pescados da região do talude continental incluem **grandes pelágicos** como atuns e afins e peixes demersais de profundidade, enquanto que na região ultra-profunda adjacente, não há registro importante de pesca (MMA, 2007).

O enriquecimento das águas gerado por eventos oceanográficos se reflete nos recursos pesqueiros, fazendo com que estas regiões sejam de grande importância econômica, devido à sua oferta de pescado.

Considerando que a probabilidade de toque da mancha nos recursos listados varia entre baixa a alta de acordo com a distribuição espacial das espécies (Mapa 13) e, considerando também a alta sensibilidade destes recursos, este fator apresenta de média a alta vulnerabilidade ambiental.

A Instrução Técnica nº01/2006 (Centro TAMAR – IBAMA, 2006) recomenda que o polígono formado entre a linha de costa e 15 milhas náuticas do litoral entre o sul do Espírito Santo e o município de Barra de Itabapoana (RJ) seja definido como Área de Exclusão Temporária para atividades de levantamento de dados sísmicos, perfuração de poços petrolíferos e instalação de dutos. O período de maior sensibilidade ocorre entre setembro a abril, incluindo os períodos de deslocamento entre os sítios de alimentação e reprodução e também o período de desova que ocorre de outubro a fevereiro.

A definição destas áreas se justifica pela presença de importante área de reprodução de tartaruga-cabeçuda (*Caretta caretta*) ao norte da Bacia de Campos e de ocorrência de registros não reprodutivos de tartaruga-verde (*Chelonia mydas*), tartaruga-oliva (*Lepidochelys olivacea*), tartaruga-de-pente (*Eretmochelys imbricata*) e tartaruga-de-couro (*Dermochelys coriacea*) na Bacia de Campos (TAMAR / IBAMA, 2006).

O mesmo documento indica a presença de área de concentração de registros não reprodutivos de tartaruga-verde (*Chelonia mydas*), tartaruga-oliva (*Lepidochelys olivacea*), tartaruga-cabeçuda (*Caretta caretta*), tartaruga-de-pente (*Eretmochelys imbricata*) e tartaruga-de-couro (*Dermochelys coriacea*) para a Bacia de Santos.

Assim, em função da presença de áreas de reprodução e alimentação, os **quelônios** da área potencialmente afetada pela mancha apresentam alta sensibilidade ambiental e, conseqüentemente, média vulnerabilidade ambiental devido à baixa probabilidade de toque por óleo.

São observadas, ainda, rotas de migração de **mamíferos marinhos** entre áreas de reprodução, mais ao norte, e áreas de alimentação, mais ao sul, principalmente das baleias jubarte (*Megaptera novaeangliae*) e franca (*Eubalena australis*). A presença destas espécies é frequente durante os meses de julho a novembro nas águas da costa brasileira, sendo que a baleia franca é considerada “em perigo” e a jubarte, “vulnerável”, pelo IBAMA/MMA (2003). Pequenos cetáceos utilizam águas costeiras e oceânicas da região da Bacia de Santos como área de residência ou de ocupação sazonal. *Sotalia guianensis*, espécie costeira que ocorre na região, é considerada espécie insuficientemente conhecida pela IUCN (2004).

Na área costeira entre Vila Velha e Marataízes é registrada a ocorrência do golfinho-de-dentes-rugosos (*Steno bredanensis*), do golfinho-de-nariz-de-garrafa (*Tursops truncatus*), do boto cinza (*Sotalia guianensis*), e da toninha (*Pontoporia blainvillei*). Estas duas últimas espécies também são observadas associadas à Foz do Rio Paraíba do Sul e na plataforma continental interna, enquanto o golfinho-de-dentes-rugosos (*Steno bredanensis*), o golfinho-de-nariz-de-garrafa (*Tursops truncatus*) e a toninha (*Pontoporia blainvillei*) são registradas na Plataforma externa norte-fluminense (MMA, 2007).

A localização de rota migratória de cetáceos mysticetos na área possivelmente afetada por um vazamento de condensado confere a esta comunidade um grau de vulnerabilidade alto, mesmo que a resposta dos cetáceos a este tipo de agressão consista no afastamento destes animais da área

Os efeitos decorrentes do contato físico direto de **aves marinhas** com o óleo incluem a ingestão de óleo e o recobrimento, o que acarreta perda da impermeabilidade das penas (Levinton, 1995). A ingestão de compostos do petróleo ocorre principalmente durante a tentativa de se limpar, sendo os efeitos do contato externo por óleo associados aos da ingestão. A contaminação também pode se dar indiretamente através da ingestão de outros organismos (FEMAR, 2000). Já os efeitos relacionados à inalação de compostos voláteis tóxicos como hexano e benzeno se restringem às aves que entram em contato com a mancha de óleo nas primeiras horas após o derrame (Leighton, 2000).

No entanto, estudos referentes a derramamentos envolvendo danos às aves marinhas durante os estágios iniciais do desenvolvimento embrionário concluem que pequenos volumes de

óleo podem ocasionar, em alguns casos, a morte destes animais (Hampton *et al.*, 2003, Leighton, 2000).

Ao longo da área potencialmente afetada pela mancha existem várias ilhas, ilhotas e rochedos que constituem abrigo para aves marinhas, servindo de área de nidificação, de pouso para descanso e alimentação (Alves *et al.*, 2004).

As áreas marinhas das ilhas de Vila Velha e Guarapari concentram uma das maiores populações reprodutivas do trinta-réis-do-bico-vermelho (*Sterna hirundinacea*) e do trinta-réis-do-bico-amarelo (*Sterna eurygnatha*) do Atlântico (MMA, 2007). Excetuando-se Fernando de Noronha, as ilhas Itatiaia (Vila Velha, ES) são os únicos sítios conhecidos de reprodução da pardela-de-asa-larga (*Puffinus lherminieri*), espécie classificada como criticamente em perigo (MMA, 2007). Destaca-se também a ocorrência de sítios de alimentação de aves marinhas em regiões de águas ultra-profundas como juvenis de albatroz-de-sobrancelha-negra (*Thalassarche melanophris*), petréis, e a pardela-de-óculos (*Procellaria conspicillata*), criticamente ameaçada (MMA, 2007).

De acordo com Alves *et al.* (2004) existem registros de nidificação em ilhas costeiras da Baía de Guanabara para atobás (*Sula leucogaster*), fragatas (*Fregata magnificens*), gaivotas (*Larus dominicanus*), biguás (*Phalacrocorax brasilianus*), garças (*Casmerodius albus* e *Egretta thula*), socós (*Butorides striatus* e *Nycticorax nycticorax*) e para o carcará (*Polyborus plancus*).

Destacam-se registros de nidificação do trinta-réis-real (*Sterna maxima*) e do trinta-réis-de-bico-amarelo (*Sterna eurygnatha*) nos pilares da ponte Rio-Niterói (Alves *et al.*, 2004).

De acordo com Campos *et al.* (2004), seis espécies de aves insulares marinhas formam colônias reprodutivas no litoral paulista: fragatas (*Fregata magnificens*), atobás (*Sula leucogaster*), gaivotão (*Larus dominicanus*), o trinta-réis-real (*Sterna maxima*) e o trinta-réis-de-bico-amarelo (*Sterna eurygnatha*) em ilhas distribuídas dos municípios de Ilhabela (Ilhas Cagadinho, Prainha, Figueira e Ilhote Cadó), São Sebastião (Ilhas Itaçuca, Apara, Alcatrazes, Amigos, Tartaruga, Porto, Rasa, Oratório e Ilhote Caranha) e Santos (Laje de Santos).

As aves marinhas apresentam alta sensibilidade ambiental. No caso das aves localizadas nos sítios de reprodução, a baixa probabilidade de toque por óleo caracteriza média vulnerabilidade ambiental deste grupo. No entanto, os sítios oceânicos de alimentação de albatrozes, petréis e pardelas apresentam de média a alta probabilidade de toque por óleo, o que lhes confere alta vulnerabilidade ambiental.

7 - Presença de Unidades de Conservação, Terras Indígenas, Sítios Arqueológicos e Comunidades Tradicionais

Dentro da área passível de ser atingida por derramamento de óleo, decorrente desta atividade, são registradas 85 Unidades de Conservação, entre a região costeira e a isóbata de 50 metros de profundidade (Mapa 13). Para todas elas, o grau de vulnerabilidade foi considerado médio, uma vez que a probabilidade de toque de óleo é baixa.

Apesar de algumas terras indígenas e comunidades quilombolas estarem localizadas nas proximidades do litoral, poucas são parcialmente banhadas pelo mar apresentando, portanto, baixa sensibilidade ambiental para um derramamento de óleo de pior caso.

Nos municípios capixabas potencialmente afetados por esta atividade não há registro da presença de comunidades quilombolas ou de áreas indígenas ao longo do litoral.

De acordo com a Fundação Nacional do Índio (FUNAI, 2008) e o Conselho Indigenista Missionário (CIMI, 2008), a presença de terras indígenas da etnia Guarani é registrada nos municípios fluminenses de Angra dos Reis e Parati e nos municípios paulistas de Ubatuba e São Sebastião.

A Fundação Palmares (2008) indica, também, a presença de comunidades quilombolas em Parati, Mangaratiba, Armação dos Búzios e Campos dos Goytacazes, no Estado do Rio de Janeiro, e Ubatuba, no Estado de São Paulo, conforme é observado no Mapa de Vulnerabilidade Ambiental.

Em função da baixa probabilidade de toque por óleo, tanto as terras indígenas quanto as comunidades quilombolas da região apresentam baixa vulnerabilidade ambiental.

O Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN, 2008) registra a presença de sítios arqueológicos ao longo do litoral, potencialmente afetado por um derramamento de pior caso. Apesar da proximidade com o litoral, com exceção de alguns sambaquis e vestígios históricos, geralmente estes sítios não se situam a beira mar. Em função de atualizações em desenvolvimento no site do IPHAN, não é possível, ainda, obter a localização exata dos sítios arqueológicos cadastrados. Este fator, de média sensibilidade ambiental, apresenta baixa probabilidade de ser afetado por toque de óleo, em função do desenvolvimento destas atividades de perfuração apresentando, portanto, média vulnerabilidade ambiental.

Em relação às comunidades tradicionais, destaca-se a presença de comunidades caiçaras espalhadas pelo litoral sul do Estado do Rio de Janeiro e ao longo do litoral dos Estados de São Paulo e Paraná (Diegues, 2004). Na área potencialmente afetada pela pluma de óleo, destaca-se

o registro de comunidades caiçaras nos municípios fluminenses de Armação dos Búzios, Arraial do Cabo, Angra dos Reis (Ilha Grande), Mangaratiba e Parati, e nos municípios paulistas de Ubatuba, Ilhabela, São Sebastião, Guarujá, Santos e São Vicente (Arnt & Wainer; 2006; Begossi, 2006; IBAMA, 2008). Estas comunidades apresentam alta sensibilidade ambiental apresentando, portanto, média vulnerabilidade ambiental.

8 – Áreas e Fatores Prioritários para Ações de Resposta

A partir da avaliação da vulnerabilidade ambiental dos fatores avaliados, é possível apresentar aqueles prioritários no caso de acidentes de derramamento de óleo com 8 m³, 200 m³ e pior caso (15.120 m³). Nas plumas dos dois menores volumes, as áreas potencialmente atingidas conferem um grau de vulnerabilidade de médio a alto à atividade pesqueira. As ações de contenção destes casos devem se ater a restringir ao máximo seu espalhamento e resgatar o maior volume possível de óleo do ambiente.

Para a pluma gerada pelo cenário de pior caso (15.120 m³), ações prioritárias de contenção e resposta devem ser tomadas nas áreas que apresentam maior probabilidade de presença de óleo, atingidas por maiores volumes de óleo e/ou com menor intervalo de tempo de chegada do óleo.

Na região costeira, em caso de acidente de pior caso ocorrido durante o verão, deve ser priorizada a proteção à região litorânea dos municípios de Armação dos Búzios, Araruama e Ilhabela (SP), que apresentam com maior probabilidade de toque (10 e 20 %). Especial atenção deve ser dada à proteção dos municípios de Cabo Frio, Arraial do Cabo e Saquarema, que além da maior probabilidade de toque por óleo (10 e 20 %), também seriam potencialmente afetados por maiores volumes de óleo (> 8.000 m³).

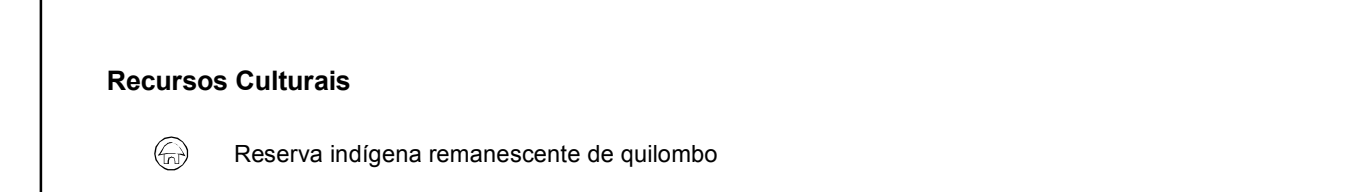
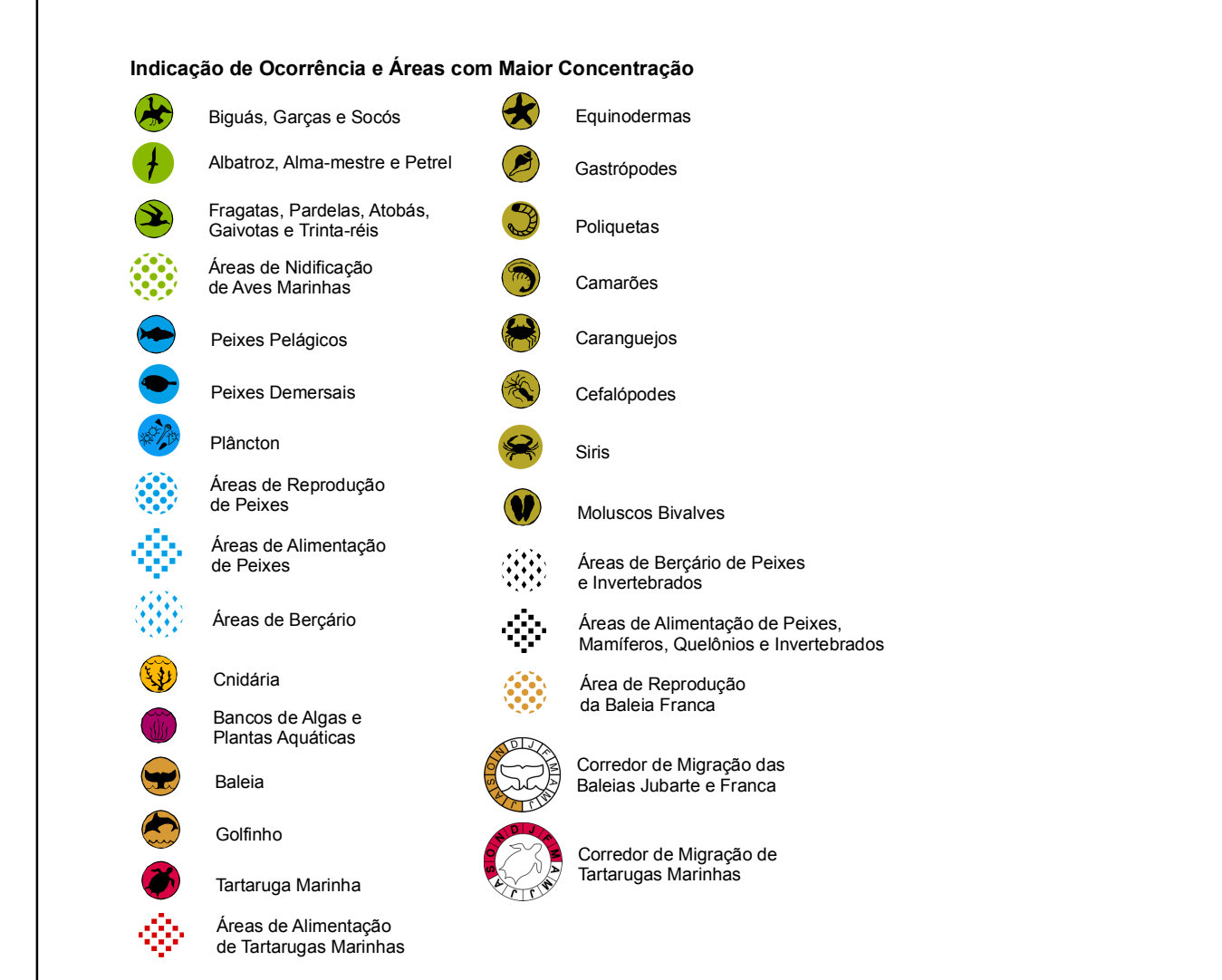
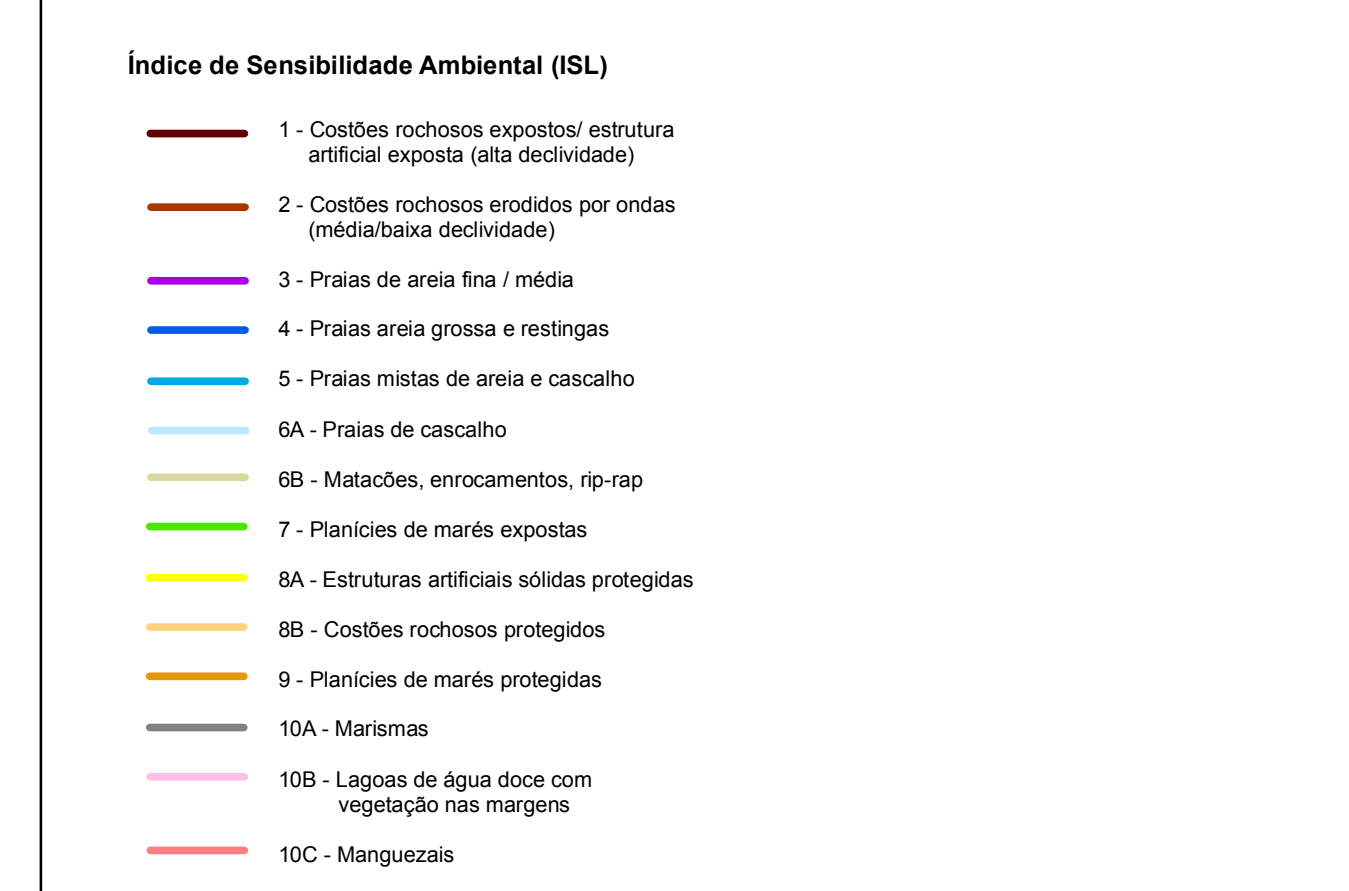
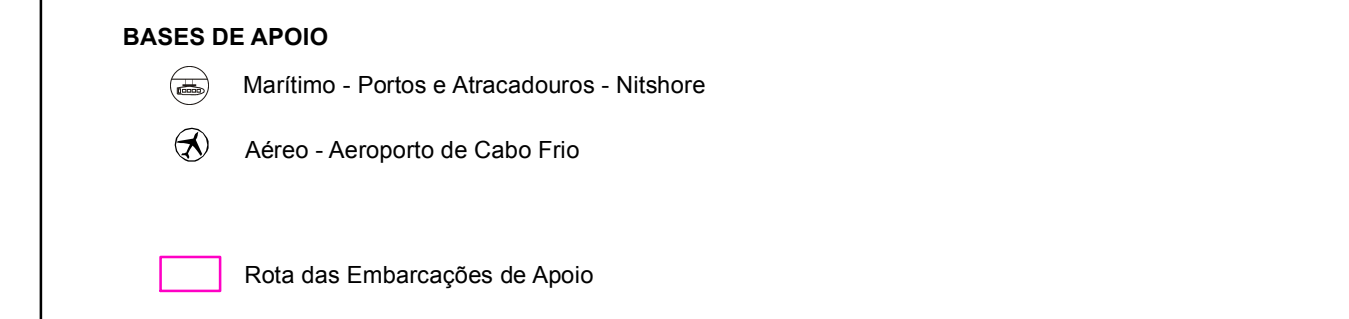
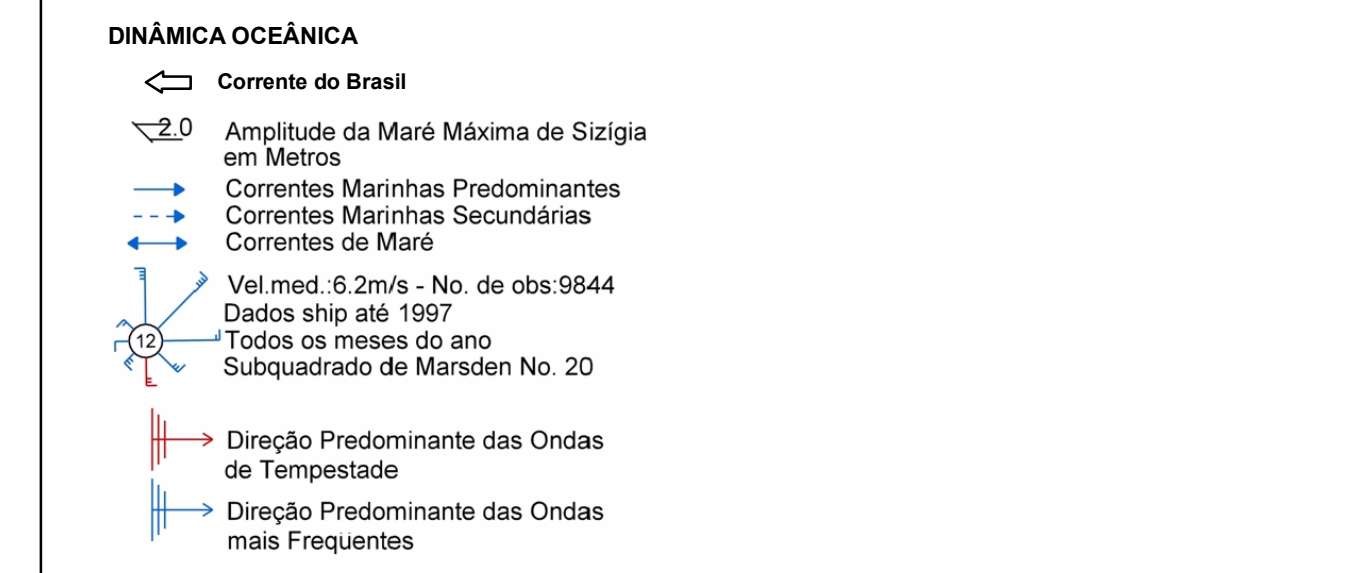
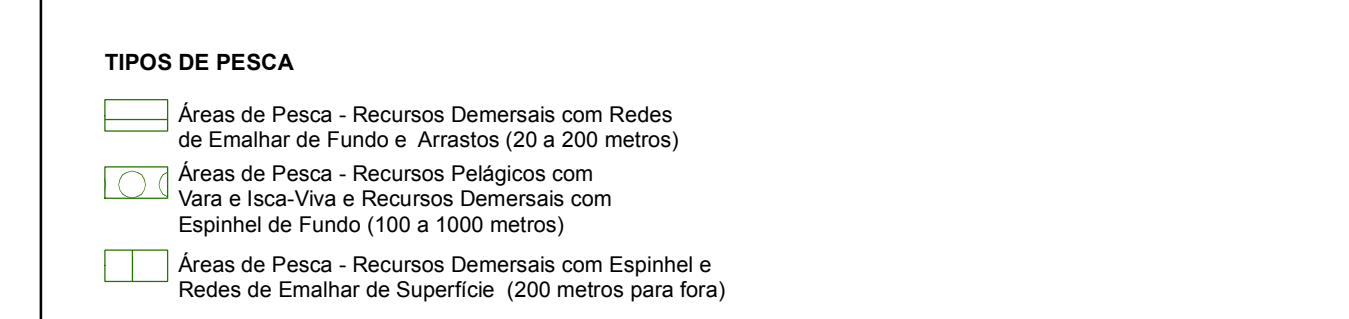
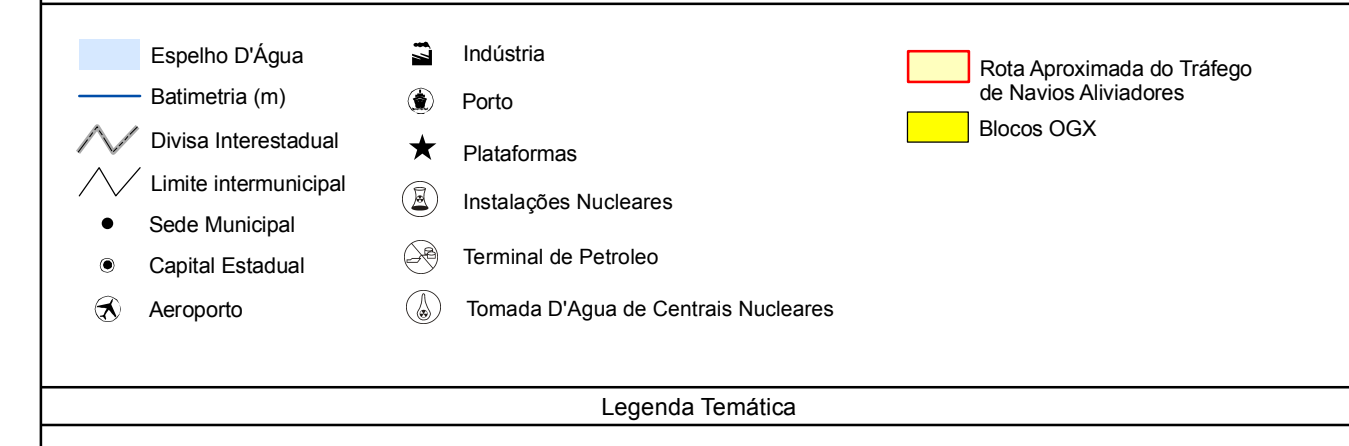
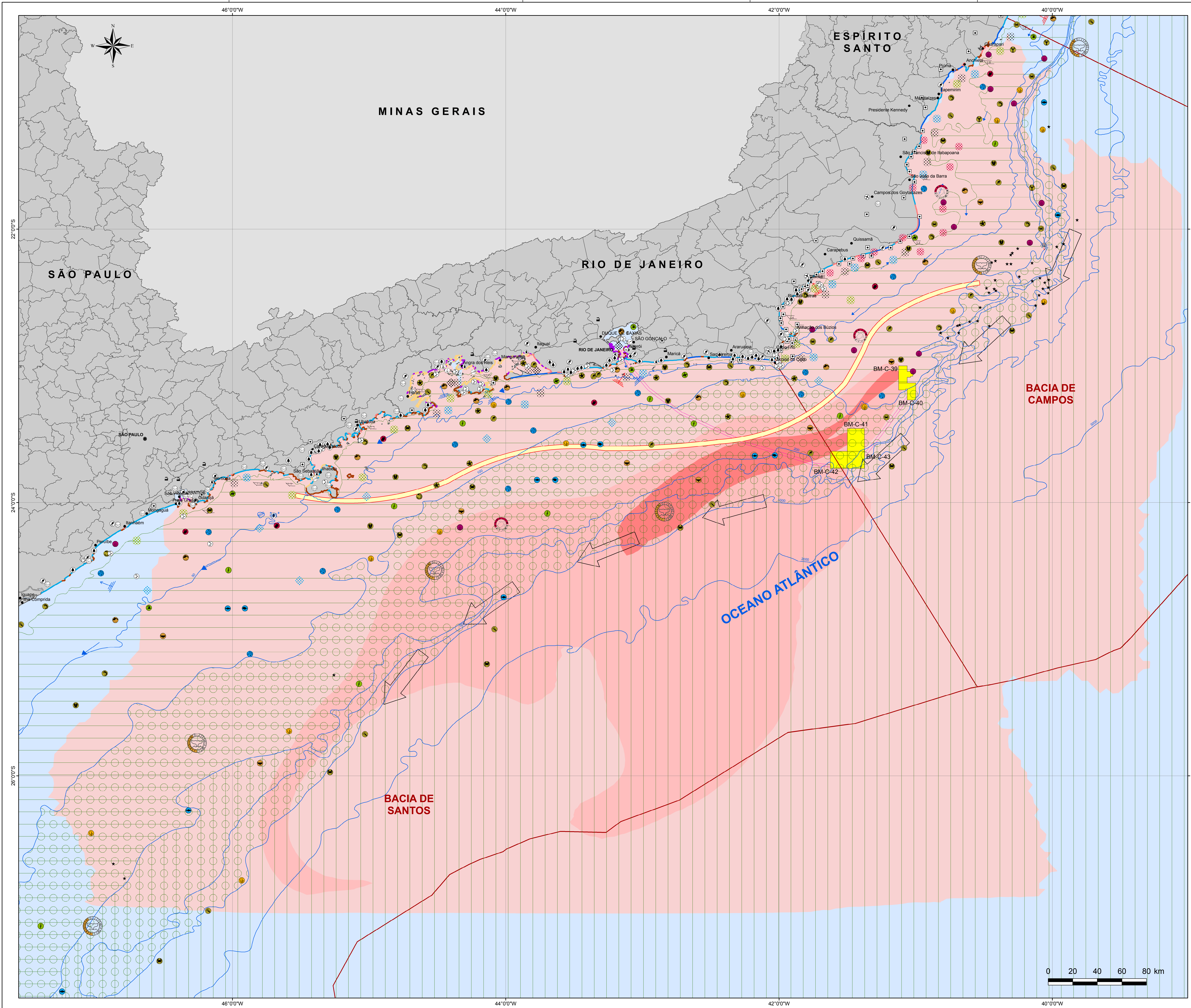
Em caso de acidente de pior caso durante o inverno, deve ser priorizada a proteção à região costeira dos municípios de Macaé, Rio das Ostras, Casimiro de Abreu, Cabo Frio, Armação de Búzios e Arraial do Cabo (RJ), que apresentam maior probabilidade de toque por óleo (10 e 20 %). Excetuando-se o município de Macaé, todos os demais municípios citados, seriam potencialmente afetados por volumes superiores a 8.000 m³, assim como os municípios de São João da Barra, Carapebus, Araruama, Saquarema, Maricá, Rio de Janeiro e Angra dos Reis. Especial atenção deve ser tomada para a proteção do litoral do município de Arraial do Cabo (RJ) uma vez que o intervalo de tempo estimado para o toque por óleo, para um acidente de pior caso, é inferior a 100 horas.

Avaliando-se os fatores vulneráveis no caso do derramamento de pior caso, as áreas costeiras prioritárias nas ações de resposta e contenção da pluma são os ecossistemas mais sensíveis, como manguezais, estuários, lagoas e áreas alagadas, seguidos de praias de areia grossa, média e fina, e costões rochosos, além de áreas de nidificação e alimentação de aves e quelônios localizados dos municípios onde há toque da pluma (Mapa 13).

Ainda na região costeira, as unidades de conservação, sítios arqueológicos e comunidades tradicionais potencialmente atingidas pela pluma se configuram como áreas prioritárias para ações de resposta, assim como locais de aglomeração humana e de importância turística.

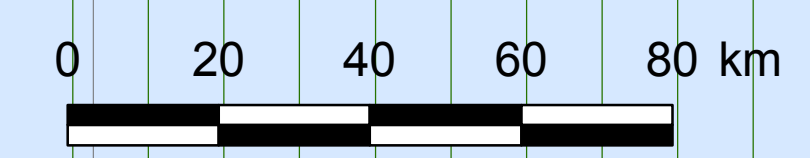
Na região oceânica potencialmente atingida, especial atenção deve ser dada às UEP's presentes na área de expansão da pluma, onde deverão ser providenciados equipamentos de contenção.

Prioridade para a colocação de barreiras também deverá ser dada para a proteção das áreas oceânicas onde são desenvolvidas atividades pesqueiras; de ressurgência de quebra da plataforma; de rotas migratórias de mamíferos marinhos e quelônios e alimentação de aves pelágicas oceânicas.



Referência: Sampaio (1984), Castro et al. (1985), Brandini (1997), CETESB (1999), IBAMA (2000), IBAMA (2001), IBAMA (2002), IBAMA (2003), IBAMA (2004), IBAMA (2005), IBAMA (2006), IBAMA (2007), IBAMA (2008), IBAMA (2009), IBAMA (2010), IBAMA (2011), IBAMA (2012), IBAMA (2013), IBAMA (2014), IBAMA (2015), IBAMA (2016), IBAMA (2017), IBAMA (2018), IBAMA (2019), IBAMA (2020), IBAMA (2021), IBAMA (2022), IBAMA (2023), IBAMA (2024).

Projeto: ATIVIDADE DE PERFUERAÇÃO MARITIMA NOS BLOCOS BM-C-39, BM-C-40, BM-C-41, BM-C-42 E BM-C-43 - BACIA DE CAMPOS ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL - EIA		
Título: VULNERABILIDADE AMBIENTAL		
Projeção: Geográfica	Datum: SAD-69	Escala: 1:1000.000
Data: Agosto, 2008	Número: Mapa 13	Autor: Leonardo Dias Celso Dias
		Revisão: 00



9.3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, V. S., et. al. Aves marinhas e aquáticas das ilhas do litoral do Estado do Rio de Janeiro. In: J. O. Branco (Ed.). **Aves marinhas e insulares brasileiras: bioecologia e conservação**. Itajaí: Univali, p.83-100. 2004.

ARNT, R. & WAINER, J. **As Últimas Praias de Ubatuba a Paraty**. São Paulo: Terra Viagem Editora, 179p. 2006.

ARYA S. P. Air Pollution Meteorology and Dispersion. **Oxford University Press**, New York, USA. 1999.

BEGOSSI, A. The ethnoecology of caiçara methapopulations (Atlantic Forest, Brazil): ecological concepts and questions. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**. 19p. Disponível em: <http://www.ethnobiomed.com/content/2/1/40>. Acesso em: 27 de agosto de 2008.

BISHOP, P.L. **Marine Pollution and its Control**. McGraw-Hill, Inc., New York, NY. 357p, 1983.

CAMPOS, E. D., et. al.. Shelf break upwelling driven by Brazil Current cyclonic meanders. **Geophys. Res. Letters** (accepted in Dec/1999) – 4p. 1999.

CAMPOS, F. P., et. al. Aves insulares marinhas, residentes e migratórias, do litoral do Estado de São Paulo. In **Aves Marinhas Insulares brasileiras: bioecologia e conservação** (organizador Joaquim Olinto Branco). Editora da Univali., Itajaí, SC. 2004.

CIMI - Conselho Indigenista Missionário. **Povos indígenas: banco de dados**. Disponível em: www.cimi.org.br Acesso em: 26 de agosto de 2008.

DIEGUES, A.C. **A Pesca Construindo Sociedades**. São Paulo: NUPAUB, USP, 315p. 2004.

FEMAR. Estudo das respostas de comunidades marinhas bentônicas de entremarés e submarés ao derramamento de óleo do *Braer*. In: **O impacto de um derramamento de óleo em águas turbulentas: O Braer**. Rio de Janeiro. 235 pp. Relação de trabalhos de um Simpósio levado a efeito na Royal Society of Edinburgh, 7-8 de setembro de 1995, 2000.

FUNAI - Fundação Nacional do Índio. **Povos indígenas: banco de dados**. Disponível em: www.funai.gov.br. Acesso em: 26 de agosto de 2008.

FUNDAÇÃO PALMARES. **Comunidades quilombolas: Banco de dados.** Disponível em: www.palmares.com.br. Acesso em: 26 de agosto de 2008.

HAMPTON, S., et. al. Tank vessel operations, seabirds, and chronic oil pollution in California. **Marine Ornithology** 31: 29-34, 2003.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Disponível em: www.ibama.gov.br/recursos-pesqueiros/wp-content/filies/4_4_ucs.pdf. Acesso em: 26 de agosto de 2008.

IBAMA / MMA. Portaria nº 08/03-N, de 20 de Março de 2003. Listagem nominal das espécies marinhas. Anexo I. 2003.

IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Banco de dados do patrimônio arqueológico.** Disponível em: www.iphan.gov.br/bancodados/arqueologico/pesquisasitiosarqueologicos.asp. Acesso em: 25 de agosto de 2008.

IUCN -International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. **The Red List of Threatened Species. 2004.** Disponível em <www.redlist.org>. Acesso em: Novembro de 2006.

JOHANSSON, S., et. al. The Tseis oil spill impact on the pelagic ecosystem. **Mar Pollut. Bull.** 11:284-293, 1980.

KALY, U., et. al. Environmental Vulnerability Index (EVI) to Summarise National Environmental Vulnerability Profiles. (Rep. No. SOPAC Technical Report 275). New Zealand: South Pacific Applied Geoscience Commission. 1999.

KUHNHOLD, W. W. Impact of the 'Argo Merchant' oil spill on macrobenthic and pelagic organisms. InProc. of the Conference on Assessment of Ecological Impacts of Oil Spills, Keystone, Colorado, 14–17 June 1978, **American Institute of Biological Sciences**, p. 152–179, 1978

LEIGHTON, F. A. **CCWHC Wildlife Health Topics – Petroleum Oils and Wildlife.** <http://wildlife.usask.ca/>. 2000.

LEVINTON, J. S. Marine Biology: Function, Biodiversity, Ecology. **Oxford University Press**, New York, Oxford, 420 p. 1995.

MATSUURA, Y., et. al. Comparison of spawning patterns of the Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) and anchoita (*Engraulis anchoita*) in Ubatuba region, southern Brazil during 1985 through 1988. **Bolm. Inst. Oceanogr.**, 40 (1/2): 101-115, 1992.

MMA.- Ministério do Meio Ambiente. **Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade Brasileira.** 2007.

NAS – National Academies Press. **Oil in the sea: Inputs, fates and effects.** 602 p, 1985.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administrations. **Environmental sensitivity index guidelines.** Version 3.0. NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 11. 89pp. 2002.

PATIN, S. Factors of the offshore oil and gas industry's impact on the marine environment and fishing. p. 53-117. In: **Waste Discharges During the Offshore Oil and Gas Activity**, S. Patin (ed.). EcoMonitor Publishing, New York. 1999.

PROOCEANO. Modelagem de dispersão de óleo Bloco BM-C-39. Relatório Técnico, 56p. 2008a.

PROOCEANO. Modelagem de dispersão de óleo Bloco BM-C-41. Relatório Técnico,.55p. 2008b.

RODRIGUES, R. R. & LORENZZETTI, J. A. A numerical study of the effects of bottom topography and coastline geometry on the Southeast Brazilian coastal upwelling. **Continental Shelf Research** 21, 371±394. 2001.

SCHOLZ, D. et. al.. The Selection Guide for Oil Spill Applied Technologies — A Guidance Document for Addressing oil spills in Coastal Marine Waters, inland on land, and inland waters. In: **Proceedings for 2001 Coastal Zone Conference**, Cleveland, OH, 2001.

TAMAR / IBAMA. **Instrução Técnica nº01/2006.** Área de exclusão temporária para atividades E & P de petróleo e gás e guia de licenciamento ambiental da 8ª Rodada da APNP. 2006.

WARK, K. et. al. **Air Pollution: Its Origin and Control.** Addison-Wesley, 295-297. 1998.

Anexo 9-3

Justificativa para o volume de óleo derramado

Justificativa para a Qualidade de óleo esperada na Área Sul da Bacia de Campos e Surgência

A Bacia de Campos, em sua porção sul, apresenta como principais reservatórios prospectáveis os arenitos do Terciário e do Cretáceo Superior com boa distribuição tanto em área como em espessuras. Observam-se ainda como potenciais objetivos exploratórios os carbonatos do Albiano e seção Aptiano nos andares Alagoas e Jiquiá. A tendência regional para sul é de uma diminuição na qualidade dos óleos, em comparação com as porções centro e norte da Bacia de Campos.

As características dos hidrocarbonetos esperados devem ser similares aos já testados nos Campos de Papa-Terra, Maromba, Guarajuba e Polvo onde os óleos apresentam grau API igual ou inferior a 22. Já para as seções Aptiano e Jiquiá é previsto um óleo de melhor qualidade, sem os problemas de biodegradação presentes na área, entretanto esses dados ainda não estão disponíveis no Banco de Dados de Exploração e Produção – BDEP da Agencia Nacional do Petróleo, Gás Natural e dos Biocombustíveis – ANP, uma vez que os poços que atingiram tais formações geológicas se encontram em período de confidencialidade.

Os cenários para a modelagem de dispersão de óleo foram construídos a partir da análise dos resultados dos testes de avaliação dos poços perfurados nos Campos de Papa-Terra, Maromba, Guarajuba e Polvo, cujas pastas são públicas, ou seja, disponíveis para compra no BDEP. Buscaram-se as características dos óleos e as vazões produzidas durante os testes de formação.

No que diz respeito ao estudo de surgência na área, também foram analisados os relatórios disponíveis dos poços perfurados na Área sul da Bacia de Campos, nos arredores das áreas exploratórias da OGX. Como resultado, verificou-se a ocorrência de intervalos da Formação Carapebus, que apresentaram surgência após estimulação durante os testes de formação do poço pioneiro 1RJS 0125 RJ, perfurado na área do atual Campo de Maromba.

De acordo com os relatórios de testes de avaliação constantes na pasta de poço 1RJS 0125 RJ, os intervalos entre as profundidades de 2390 a 2404 e 2449 a 2457 m tiveram a surgência induzida com a aplicação de um colchão de óleo diesel até a superfície, sendo pressurizado com 130 psi na cabeça do poço, abrindo-se o poço em seguida com pequena abertura.

Os resultados dos testes de formação foram: (i) para o intervalo entre 2390 e 2404m, a vazão em tanque foi de 7,6 m³/ dia e o °API do óleo igual a 5,5 e; (ii) para o intervalo entre as profundidades de 2449,0 e 2457,0 m o óleo apresentou alta viscosidade e ótima permeabilidade (Ke=17.972 mD), Índice de Produtividade (IP) igual a 4,3412 m³/d/kgf/cm², vazão em tanque de 108,4 m³/ dia, °API = 9, Pressão Externa = 258,76 kgf/cm² e Pressão de Fluxo = 233,79 kgf/cm².

Em função das características físicas dos reservatórios dos campos descobertos no entorno das áreas da OGX e das características dos fluidos neles contidos, os quais apresentam, em geral, baixo grau API e alta viscosidade, a ocorrência de intervalos geológicos que apresentem características de reservatórios surgentes ocorre em caráter excepcional nesta porção da Bacia de Campos.

Apesar da previsão da ocorrência de óleos de melhor qualidade (em torno de 30°API), nas seções do Aptiano e Jiquiá, além de níveis mais elevados de pressão em função da profundidade desses intervalos (no caso do poço Honolulu localizados a cerca de 4200m de profundidade), destaca-se que a própria profundidade do reservatório constitui um fator limitante tanto para a surgência quanto para implantação de um sistema de produção e escoamento de petróleo.

Anexo 9-4

Modelagem de Dispersão de Óleo



RELATÓRIO TÉCNICO [REV. 00]

MODELAGEM HIDRODINÂMICA
Bloco BM-C-39

Preparado para:
HABTEC

Preparado por:
Maurício da Rocha Fragoso
Leandro Calil

30 de julho de 2008

PROOCEANO

AV. RIO BRANCO, 311 / 1224 CENTRO
CEP 20.0040-009 RIO DE JANEIRO RJ
TEL | FAX +55 21 2532-5666
WWW.PROOCEANO.COM.BR

RELATÓRIO TÉCNICO [REV.00]

MODELAGEM HIDRODINÂMICA
Bloco BM-C-39

Preparado para:
HABTEC

Preparado por:
Maurício da Rocha Fragoso
Leandro Calil

30 de julho de 2008

ÍNDICE:

I. INTRODUÇÃO.....	4
I.1. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS	4
<i>I.1.1. Circulação Superficial.....</i>	<i>5</i>
<i>I.1.2. Circulação Intermediária</i>	<i>7</i>
<i>I.1.3. Circulação Profunda</i>	<i>8</i>
<i>I.1.4. Vórtices e Meandros</i>	<i>9</i>
II. MODELO NUMÉRICO UTILIZADO	10
III. DOMÍNIO DO MODELO	14
IV. Condições de Contorno	26
IV.1. Condição de Contorno de Fundo	27
IV.2. Condição de Contorno de Superfície	28
IV.3. Condição de Contorno Lateral	34
<i>IV.3.1. Elevação do Nível do Mar</i>	<i>34</i>
<i>IV.3.2. Correntes</i>	<i>34</i>
<i>IV.3.3. Temperatura</i>	<i>34</i>
V. RESULTADOS.....	34
V.1. Avaliação do Modelo	34
<i>V.1.1. Transporte de Volume</i>	<i>34</i>
<i>V.1.2. Estrutura Termohalina</i>	<i>34</i>
<i>V.1.3. Campos de Corrente</i>	<i>34</i>
VI. CONCLUSÕES.....	34
VII. BIBLIOGRAFIA.....	34

I. INTRODUÇÃO

Para simular o transporte de qualquer material no oceano é necessário conhecer o comportamento das correntes marinhas da região em questão. Para tal, pode-se recorrer à técnica conhecida como fluidodinâmica computacional, que consiste em reproduzir o comportamento de fluidos em resposta às forças atuantes no meio, através da solução numérica das equações que governam os processos envolvidos. Com isso, podem ser obtidos resultados sinóticos e sob diferentes condições de contorno e iniciais, como por exemplo, condições de verão e inverno, de maré de sizígia e quadratura etc.

A capacidade de simular diferentes condições, aliada à obtenção de resultados sinóticos em quatro dimensões (as três do espaço e o tempo), faz da fluidodinâmica computacional uma opção interessante, e em determinados casos, como em regiões com pouca ou nenhuma medição, a única para obter os resultados necessários à modelagem de transporte de materiais no oceano. É imprescindível, no entanto, a realização de comparações dos resultados obtidos pelo modelo hidrodinâmico com dados observados na região, para se ter uma medida da representatividade do modelo em relação ao observado.

Esse relatório apresenta a descrição da simulação hidrodinâmica e seus resultados, utilizados nas modelagens de transporte de óleo para o Bloco BM-C-39.

I.1. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS

A circulação oceânica da região do Bloco BM-C-39 está sob a influência do giro subtropical do Atlântico Sul, que faz parte da circulação de grande escala que ocorre nas bacias dos oceanos mundiais (Peterson & Stramma, 1991). Trata-se de uma circulação complexa, que apresenta variações ao longo da coluna d'água e para um mesmo nível de profundidade pode apresentar intensidades e sentidos diferentes, dependendo da posição geográfica. Na

Figura 1 pode ser observada a localização do Bloco BM-C-39.



Figura 1: Localização do Bloco BM-C-39.

A circulação oceânica da região pode ser dividida em superficial, intermediária e profunda. Existem poucas medições diretas das correntes e as estimativas sobre a circulação são, em sua maioria, realizadas a partir de dados hidrográficos, o que em primeiro lugar já filtra as variações temporais e pode ainda gerar imprecisões. Mesmo os esforços empreendidos pelos pesquisadores ao longo de todos esses anos não são suficientes para se obter um conhecimento mais aprofundado sobre a circulação dessa região e alguma controvérsia ainda existe, principalmente em relação às circulações intermediária e profunda.

1.1.1. Circulação Superficial

A circulação superficial da Baía de Campos é dominada pela Corrente do Brasil (CB). Apesar de ser creditado a Isaaci Vossius o primeiro reconhecimento e descrição da Corrente do Brasil em 1663 no seu "Tratado Sobre o Movimento dos Mares e Ventos", foi James Rennell em 1832 quem detalhou e até mesmo nomeou a Corrente do Brasil. Além disso, foi

o primeiro a determinar que a CB era mais fraca do que a Corrente Norte do Brasil (Peterson et al., 1996).

A CB faz parte do giro subtropical do Atlântico Sul (Peterson & Stramma, 1991) e é formada a partir da bifurcação da Corrente Sul Equatorial, que ocorre entre as latitudes de 5 a 10o S (Figura 2). Trata-se de uma Corrente de Contorno Oeste que desempenha o mesmo papel que a Corrente do Golfo, transportando águas quentes e salinas do Equador em direção aos pólos. Entretanto, ao contrário de sua similar do Atlântico Norte, foram realizadas muito poucas medições utilizando correntômetros (Lima, 1997). Outra diferença da CB em relação à Corrente do Golfo é sua menor intensidade. Uma explicação possível foi realizada por Stommel (1965, apud Calado, 2000), que aponta a oposição de sentido da componente termohalina em relação ao transporte gerado pelo vento, que se somam na Corrente do Golfo, como uma possível explicação para esse fato.

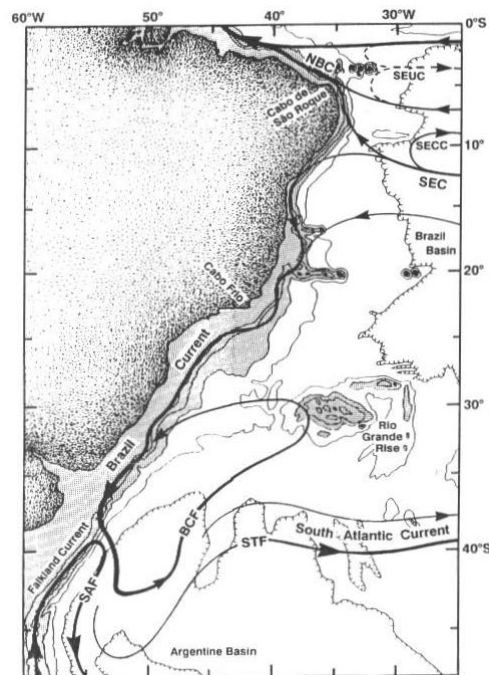


Figura 2: Esquema da circulação superficial do atlântico sudoeste. Fonte: Silveira et al., (2000).

A CB, desde sua origem até a Confluência Brasil-Malvinas, apresenta fluxo predominante para sul/sudoeste, ocupando a troposfera oceânica (primeiros 500 m de profundidade), fluindo sobre a quebra da Plataforma Continental. Garfield (1990, apud Lima, 1997), indica que a posição média da frente da CB é muito próxima à quebra da plataforma associando à isohalina de 36 para locais a leste de 45° W.

Próximo à latitude de 20,5° S, a CB se depara com a cordilheira submarina Vitória-Trindade e flui preferencialmente através da passagem mais próxima à costa, embora esse

fluxo seja pouco documentado (Castro & Miranda, 1998). Stramma et al. (1990 apud Castro & Miranda, 1998) mostram que entre 16 e 19° S a parte mais a oeste da BC flui para sul longe da costa, ao largo da isóbata de 3000 m. Próximo à cadeia, a velocidade da corrente é de 0,5 a 0,6 m/s com transportes entre 3,8 a 6,8 Sv (Evans et al., 1983). Valores maiores, 9,4 Sv, foram encontrados por Schmid et al. (1995).

A partir desta latitude, a corrente adquire caráter meandrante e se intensifica (Silveira et al., 2000). Lima (1997), utilizando medidas obtidas por correntômetros ao longo de uma ano na região do Cabo de São Tomé (22o S), estimou a transporte de volume como possuindo valor médio de $5,5 \pm 2,6$ Sv e moda de 6,5 Sv, concordando com as estimativas de Peterson & Stramma, (1991). A velocidade em superfície ao largo de Cabo Frio é em torno de 0,5 m/s e o transporte é da ordem de 9 Sv (Signorini, 1978), sendo que mais da metade do fluxo é confinado aos primeiros 200 metros de coluna d'água (Silveira et al., 2000). Ao sul de Cabo Frio, a CB se intensifica a uma taxa de 5% a cada 100km (Gordon & Greeengrove, apud Castro & Miranda, 1998).

1.1.2. Circulação Intermediária

A circulação intermediária, entre as profundidades de 400 e 1500m está associada ao fluxo da Água Intermediária Antártica (AIA). O padrão de circulação da AIA (Figura 3) ainda gera alguma polêmica entre os pesquisadores, porém a teoria mais aceita parece ser a de que a AIA seria formada na Convergência Antártica fluindo para níveis intermediários indo em direção ao norte até a região da confluência Brasil-Malvinas (~38°S), onde seguiria em direção ao leste como parte de uma recirculação mais profunda associada ao Giro Subtropical. Esta fluiria então anticiclonicamente e ao sul da latitude de 25° S, atingiria novamente a costa do Brasil, bifurcando-se e seguindo parte em direção ao Equador e parte fluindo para sul ao longo da costa, com o eixo da divergência paralelo ao talude entre as latitudes de 27° S e 28° S (Silveira et al., 2000).

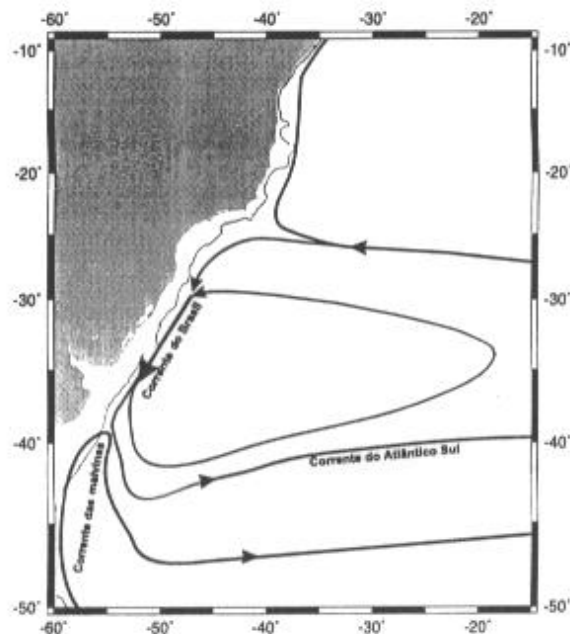


Figura 3: Esquema da circulação intermediária no atlântico sudoeste. Fonte: Silveira et al., (2000).

A parte da AIA que flui para norte foi medida por Evans & Signorini (1985) entre 23 e 20,5° S e na latitude de 11° S (Speer et al., 1996 apud Lima, 1997). Tal fluxo foi denominado por Boebel et al., (1999, apud Silveira et al., 2000) de Corrente de Contorno Oeste Intermediária. Lima (1997) também indica a existência desse fluxo permanente utilizando dados medidos por correntômetros no período de um ano na Bacia de Campos. Esse autor o denominou de Contra-Corrente do Brasil Intermediária, atribuindo a ele um transporte de 5.1 ± 2.8 Sv e uma extensão vertical de 1100 m, estando presente entre as profundidades de 400 e 1500m.

1.1.3. Circulação Profunda

Abaixo da AIA encontra-se a APAN (Figura 4), que ocupa níveis entre 1500 e 3000m e é formada no Atlântico Norte no mar da Groenlândia. É consenso na literatura que a APAN se apresenta como um fluxo organizado fluindo para o sul ao longo do contorno oeste até cerca de 32° S, onde ao menos uma parte da corrente retorna em direção ao equador (Silveira et al., 2000).

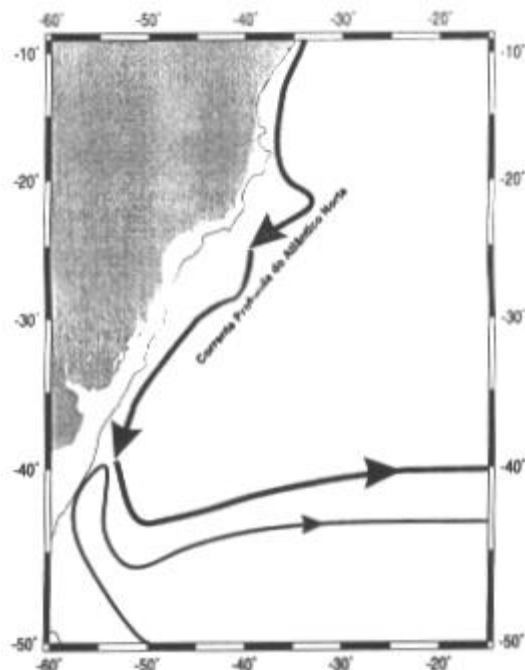


Figura 4: Esquema da Circulação Profunda no Atlântico Sudoeste. Fonte: Silveira et al. (2000).

1.1.4. Vórtices e Meandros

Os fenômenos transientes da Corrente do Brasil são fatores bastante relevantes de sua dinâmica, sendo primeiro observados no final da década de 1950 (DHN, 1969). Apesar da Corrente do Brasil apresentar transporte inferior ao de outras correntes de contorno oeste, possui muitos vórtices e meandros (Calado, 2000). Essas feições oceanográficas representam um desafio à previsão oceânica, uma vez que sua variabilidade espaço-temporal irá acrescentar um alto grau de variabilidade na circulação local, o que contribui para uma menor precisão das previsões de curto e médio período.

Segundo Silveira et al. (2000), uma das primeiras descrições de meandros e vórtices da CB foi realizada por Mascarenhas e colaboradores (1971), que descreveram a presença de vórtices e meandros ciclônicos e anticiclônicos ao largo de Cabo Frio utilizando mapas de topografia dinâmica. Eles especulam que as feições topográficas da região favoreceriam a geração destes vórtices e meandros. Signorini (1978) apud Silveira et al. (2000) observou um vórtice com cerca de 100 km de raio em região de águas profundas (>1000m) com extensão vertical de 500 m ao norte de Cabo Frio, realizando análise dinâmica em dados hidrográficos. Campos (1995 apud Silveira et al., 2000) atribui a ocorrência destes fenômenos transientes à mudança de orientação da costa a partir de Cabo Frio e ao gradiente de batimetria, já que a plataforma ao norte de Cabo Frio é estreita e se torna mais larga e suave na Bacia de Santos. Assim, a CB que flui ao longo da quebra da plataforma, por inércia, dirigir-se-ia em direção às águas mais profundas na latitude de Cabo Frio. Utilizando o princípio de conservação de vorticidade potencial, o autor mostra que a CB iria meandrar ciclonicamente. Evidências de meandros e vórtices ciclônicos e

anticiclônicos foram também detectados em imagens de satélite, sugerindo que o início da atividade ciclogênica pode ocorrer ao largo do Cabo de São Tomé (22°S).

II. MODELO NUMÉRICO UTILIZADO

Para as simulações hidrodinâmicas da região do Bloco BM-C-39 foi utilizado o modelo conhecido como Princeton Ocean Model - POM (Blumberg & Mellor, 1987). O POM é um modelo numérico hidrodinâmico não-linear, de equações primitivas, com superfície livre, tridimensional, de diferenças finitas, projetado para simular correntes costeiras e oceânicas. O tratamento dos efeitos turbulentos é realizado com o modelo de fechamento turbulento de segunda ordem, nível 2.5 de Mellor & Yamada (1982), o que permite uma representação mais realística das camadas de Ekman de superfície e de fundo (Blumberg & Mellor, 1987). Como este modelo foi projetado para incluir os efeitos decorrentes de profundidades irregulares, o sistema de coordenadas cartesianas é modificado com a introdução do conceito da coordenada generalizada sigma, no qual a coordenada vertical z , orientada no sentido contrário à aceleração da gravidade, é substituída pela coordenada sigma (σ), que tem como referência, ao mesmo tempo, o fundo e a superfície livre do mar. Os modelos de coordenada sigma, ou "seguidores-de-terreno" são especialmente adequados em regiões com topografia de fundo variável e nas quais os processos de interação com a camada-limite de fundo são importantes. A principal atração de tais modelos reside na representação suave da topografia e em sua habilidade em simular as interações entre o fluxo e a batimetria (Ezer et al., 2002). A transformação de z para sigma é realizada conforme indicado a seguir:

$$\sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta} \quad \text{II.1}$$

onde η é a elevação da superfície livre e H é a profundidade local. Assim, σ varia de 0, na superfície, a -1, no fundo. Desta maneira, o modelo consegue representar bem os efeitos do relevo de fundo e do contorno de costa sobre a circulação (Figura 5), o que é importante quando se está modelando regiões onde ocorra variações topográficas significativas.

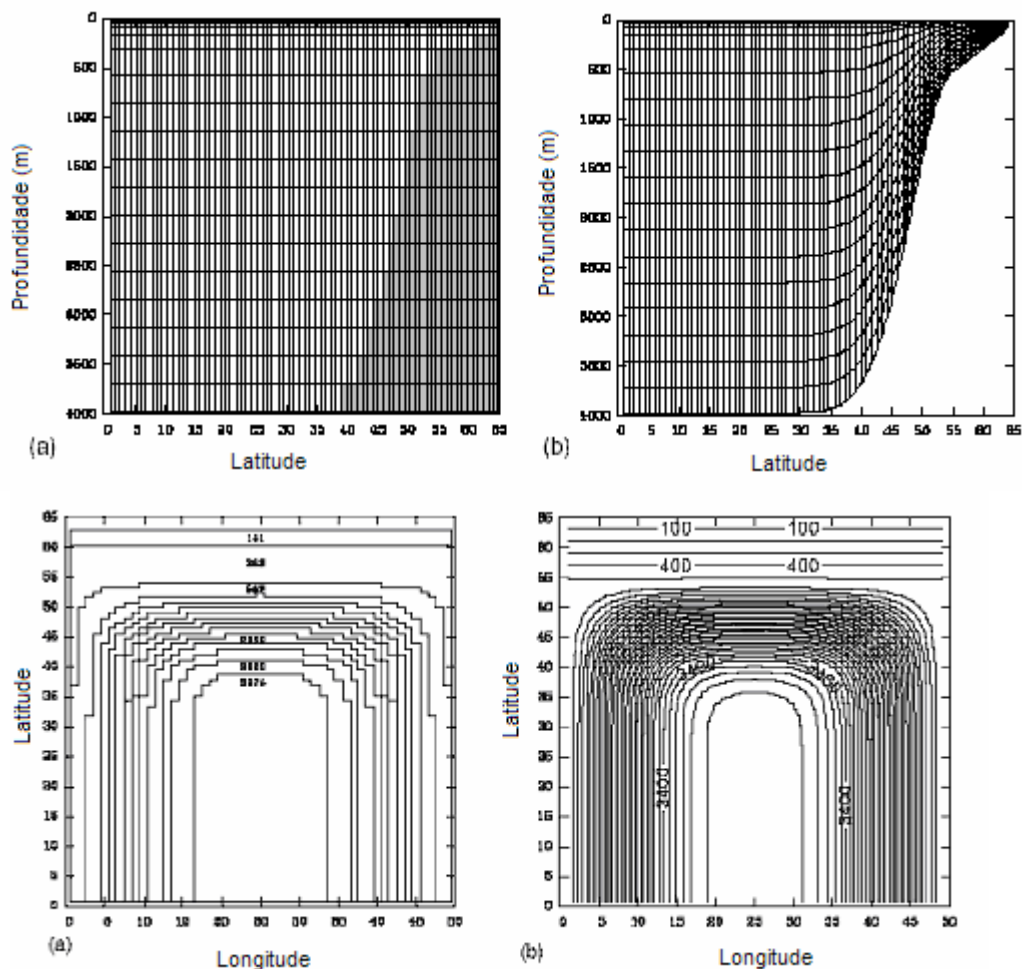


Figura 5: Representação da topografia de fundo em perfil (painel superior) e em planta (painel inferior) em grades com coordenada vertical cartesiana Z (a) e coordenada vertical sigma (b). Fonte: Ezer & Mellor, (2004).

O POM é portanto, um modelo adequado para simular as correntes em baías, estuários, regiões costeiras, Plataforma Continental e bacias oceânicas como pode ser visto nos artigos que tratam das simulações em regiões de oceano profundo (Ezer & Mellor, 1994; Gan *et al.*, 1998; Ezer, 2001).

O conjunto de equações governantes do POM é formado pelas equações primitivas do movimento, fazendo uso das aproximações de Boussinesq, plano β e hidrostática. Referenciando-se a um sistema de coordenadas cartesianas ortogonais com valores positivos de x no sentido leste e de y no sentido norte e realizando a transformação para coordenada sigma, tem-se o conjunto de equações básicas utilizadas pelo POM (Mellor, 2004).

Equação da continuidade:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad \text{II.2}$$

Equação da conservação da quantidade de movimento na direção zonal:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial U^2}{\partial x} + \frac{\partial UV}{\partial y} + \frac{\partial U\omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^{\sigma'} \left[\frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] \quad \text{II.3}$$

Equação da conservação da quantidade de movimento na direção meridional:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial UV}{\partial x} + \frac{\partial V^2}{\partial y} + \frac{\partial V\omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^{\sigma'} \left[\frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial y} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + F_y \quad \text{II.4}$$

Equação da conservação de calor:

$$\frac{\partial \theta D}{\partial t} + \frac{\partial \theta UD}{\partial x} + \frac{\partial \theta VD}{\partial y} + \frac{\partial \theta \omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma} \right] + F_{\theta} - \frac{\partial R}{\partial z} \quad \text{II.5}$$

Equação da conservação de sal:

$$\frac{\partial S D}{\partial t} + \frac{\partial S U D}{\partial x} + \frac{\partial S V D}{\partial y} + \frac{\partial S \omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right] + F_S \quad \text{II.6}$$

Equação de estado da água do mar:

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

Nestas equações $D = H + \eta$, U e V são os componentes zonal e meridional da velocidade, respectivamente, f é o parâmetro de Coriolis, g é a aceleração da gravidade, ρ é a densidade, ρ_0 é a densidade de referência, ρ' é a anomalia de densidade, θ é a temperatura potencial, S é a salinidade, K_M é o coeficiente de viscosidade cinemática

vertical, KH é o coeficiente de difusão de calor vertical, $\partial R / \partial z$ é o termo de fluxo de calor radiativo e ω é a velocidade vertical transformada, correspondente à componente de velocidade normal às superfícies sigma. Essa transformação se dá segundo:

$$W = \omega + U \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) + V \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) + \sigma \frac{\partial D}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial \sigma} \quad \text{II.8}$$

Os termos F_x , F_y , F_θ e F_s (atrito turbulento) são os chamados termos sub-grade, ou seja, com resolução menor do que a grade, sendo então necessárias parametrizações para resolvê-los (Calado, 2000), representadas nas equações **II.9** a **II.10**.

$$F_x = \frac{\partial}{\partial x} \left[2A_M \frac{\partial U}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \quad \text{II.9}$$

$$F_y = \frac{\partial}{\partial x} \left[A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[2A_M \frac{\partial V}{\partial x} \right] \quad \text{II.10}$$

$$F_{s,\theta} = \frac{\partial}{\partial x} \left[A_H \frac{\partial (S,\theta)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_H \frac{\partial (S,\theta)}{\partial y} \right] \quad \text{II.11}$$

O termo A_M é resolvido utilizando a solução de Smagorinsky:

$$A_M = C \Delta x \Delta y \left[\left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad \text{II.12}$$

Onde C é a constante de Smagorinsky e A_H é o coeficiente de difusão de calor horizontal.

Esse conjunto de equações é resolvido utilizando-se uma diferenciação centrada no tempo e no espaço, também conhecida como Leap-frog, que é capaz de resolver apropriadamente os processos altamente dependentes do tempo e não-lineares (Blumberg

& Mellor, 1987). O POM faz uso da técnica de separação de modos (mode splitting), na qual as equações do movimento são separadas em modo externo (ou barotrópico) e modo interno (ou baroclínico), permitindo que sejam utilizados intervalos de tempo (t) diferentes na integração do modelo. O intervalo de tempo para o modo interno pode ser bem maior do que a do modo externo, já que a velocidade da onda interna é bem menor do que a externa.

Assim, essa técnica propicia uma economia significativa de tempo de processamento ao mesmo tempo que não compromete a estabilidade do modelo, satisfazendo a condição de Courant-Friedrichs-Levy (CFL).

O sistema de coordenadas horizontal utiliza coordenadas ortogonais curvilíneas, que permite resolução variável de grade e o esquema de diferenciação aplicado é o conhecido como grade C de Arakawa. A linguagem de programação utilizada na versão oficial do modelo é Fortran77.

O grupo de usuários registrados do POM é constituído por mais de dois mil pesquisadores de dezenas de países, que já publicaram quase 700 artigos com aplicações do modelo para estudos da circulação em estuários, regiões costeiras, e oceano aberto, enfocando fenômenos de pequena escala até grande escala e com escalas temporais da ordem de horas até escalas sazonais.

III. DOMÍNIO DO MODELO

O domínio do modelo (Figura 6) compreende a região entre as latitudes de 10° e 27° S e entre as longitudes de $32,5^{\circ}$ e 50° W. Possui extensão de cerca de 1890 km por 1945 km, comparável ao Raio de Deformação de Rossby externo (da ordem de 1000 km para a região). Foi escolhido de maneira a poder representar a maior parte da energia e da dinâmica da CB e também para que os contornos abertos da grade pudessem ficar longe o suficiente da área de maior interesse. A distância entre qualquer das três fronteiras abertas (sul, leste e norte) e o Bloco BM-C-39 é sempre maior do que 200 km.

A resolução espacial escolhida para o POM foi de 5 minutos de arco (aproximadamente 9 km). Essa resolução é refinada o suficiente para capturar os fenômenos oceanográficos de mesoescala, responsáveis por mais de 99% da energia cinética dos oceanos (Munk, 2002). O Raio de Deformação de Rossby Interno (R_i) na região foi calculado para comparar a escala dos fenômenos baroclínicos de mesoescala com a resolução horizontal do modelo. O cálculo do R_i pode ser realizado através da seguinte formulação (Le Blond & Mysak, 1978):

$$R_i = \frac{\sqrt{g'/h_e}}{f} \quad \text{III.1}$$

onde f é o parâmetro de Coriolis, g' é a gravidade reduzida dada por:

$$g' = g * \left(\frac{\Delta \rho}{\rho 2} \right) \quad \text{III.2}$$

onde $\Delta\rho$ é a variação de densidade ($\rho_2 - \rho_1$) entre as camadas.

e h_e é a profundidade equivalente dada por:

$$h_e = \frac{(h_1 * h_2)}{(h_1 + h_2)} \quad \text{III.3}$$

onde h_1 é a espessura da primeira camada e h_2 da segunda.

Efetando o cálculo para valores típicos da região, onde considera-se a latitude de 23° S para f , a espessura de 400 m para h_1 (camada contendo o transporte a Corrente do Brasil (Lima, 1997)), 800 m para h_2 (camada contendo o transporte da AIA (Lima, 1997)) e os valores de densidade obtidos a partir da temperatura e salinidade dessas camadas, encontramos um R_i de cerca de 25 km. Assim, o espaçamento de grade horizontal do modelo é, aproximadamente, três vezes menor do que o Raio de Deformação de Rossby Interno da região. Quando a resolução horizontal de um modelo numérico é similar ao R_i , pode-se considerá-lo como eddy permitting, ou eddy resolving (Stevens & Johnson, 1997), ou seja, capaz de resolver os vórtices de mesoescala. Pode-se afirmar então que o modelo numérico em questão possui resolução horizontal adequada para receber as condições de contorno e iniciais impostas e capacidade de representar todos os fenômenos oceanográficos relevantes.

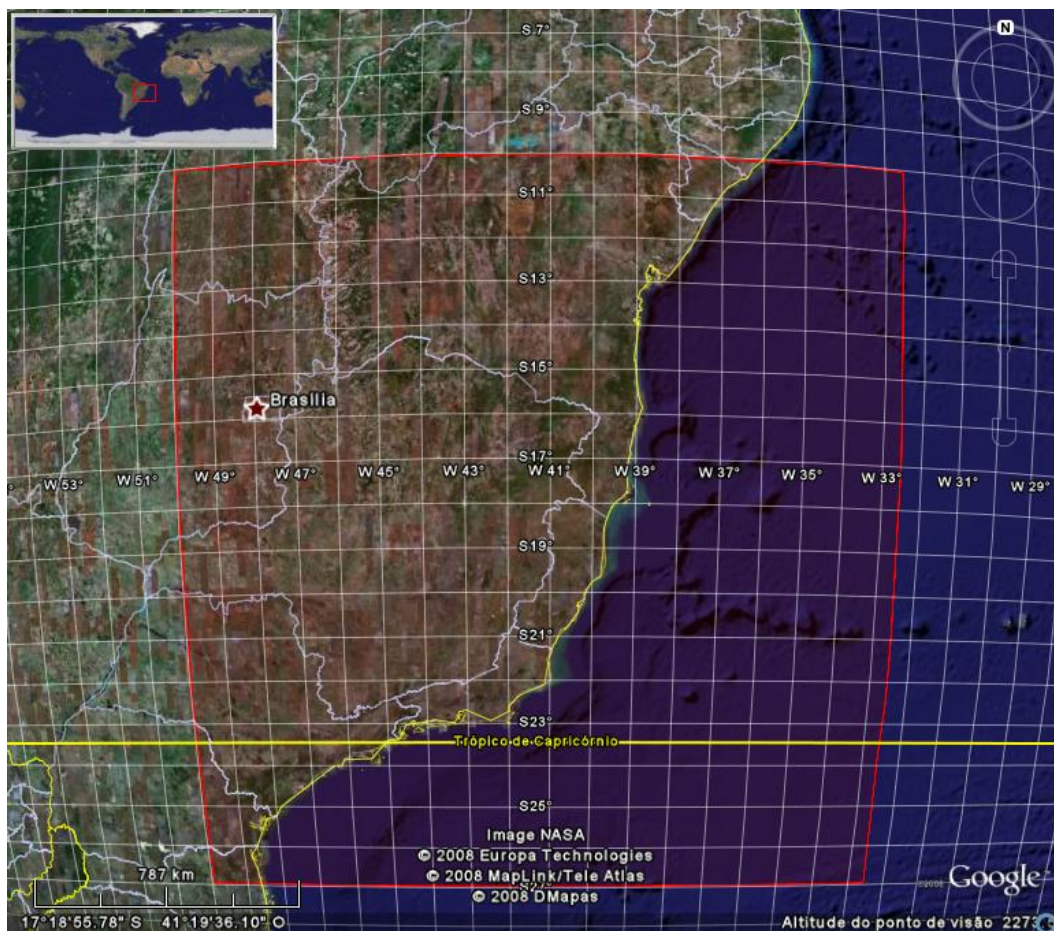


Figura 6: Domínio do modelo hidrodinâmico.

A situação ideal para se inicializar um modelo seria obter-se dados de temperatura e salinidade em cada ponto de grade (nas três dimensões), observados simultaneamente, o que é inviável. Desta forma, deve-se procurar uma alternativa, como a obtenção de informações de bancos de dados que contenham o máximo de observações simultâneas com a resolução mais próxima à grade do modelo em questão. Isso nos traz à escolha dos dados de condição inicial do modelo do BM-C-39. Existem alguns bancos de dados que contêm informações de temperatura e salinidade em todo o globo e muitos com informações sazonais ou mensais. Os dados disponíveis são resultantes da aplicação de técnicas de Análise Objetiva aos dados obtidos de variadas fontes como navios, bóias, satélites e fundeios. Com isso, obtêm-se matrizes de dados globais em várias profundidades e tempos. Dentre esses bancos de dados, podemos citar o Levitus do Centro Nacional de Dados Oceanográficos dos Estados Unidos (National Oceanographic Data Center - NODC) como exemplo. Os dados de temperatura e salinidade são disponibilizados sem custo ao público através da Internet em matrizes cuja mínima resolução espacial é de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ (cerca de 110×110 km).

Para o caso do BM-C-39, optou-se pela utilização dos dados gerados pelo modelo de circulação oceânica global MOM (Modular Ocean Model), desenvolvido pelo Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL / NOAA), da Universidade de Princeton para representar o estado inicial. O MOM é um modelo formulado matematicamente pelas equações primitivas completas, escritas em coordenadas esféricas, que utilizam as aproximações hidrostática e de Boussinesq e que simula as correntes em todo o globo. Os dados do MOM mostraram-se como uma alternativa mais atraente, pois o modelo utiliza os campos Levitus para sua inicialização, realizando também assimilação de dados ao longo da rodada e, além disso, está em balanço com as correntes que servirão de condição de contorno para o POM.

Outro fator importante que levou à escolha dos dados do MOM é a grande base de dados disponível na rede (<http://data1.gfdl.noaa.gov/nomads/forms/assimilation.html>). Essa base possui 20 anos de resultados do MOM, com médias mensais de vários parâmetros (entre eles temperatura, salinidade e as componentes u e v da velocidade) para os anos de 1981 a 2000, com resolução zonal e meridional de 1° (aproximadamente 110 km), possuindo 40 níveis de profundidade (da superfície até 4400 m). Tais dados são os resultados do experimento denominado Ocean Data Assimilation Experiment, conduzido por várias instituições americanas, sendo um dos seus objetivos a geração de dados para inicialização de modelos numéricos. Os detalhes a respeito desse experimento podem ser encontrados na página da Internet (<http://www.gfdl.noaa.gov/~mh2/IRI-ARCS/>).

Para finalmente obter-se os dados de condição inicial do modelo foi realizada uma análise estatística a fim de verificar se as médias mensais dos 20 anos seriam satisfatórias para representar o campo inicial do POM. Para tal, foi calculada a média de cada mês entre 1980 e 1999 e os respectivos desvios-padrão. Exemplos desses campos para o mês de julho são mostrados da Figura 7 a Figura 10. Os valores de desvio-padrão são baixos comparados às médias (cerca de 2%), o que mostra que a média é nesse caso um bom estimador para o campo inicial.

Desta forma, a inicialização do modelo foi realizada com o campo médio dos períodos de janeiro a junho e julho a dezembro obtidos a partir dos resultados dos 20 anos de simulação do MOM interpolados para a resolução espacial (vertical e horizontal) do POM, o que é considerado um aninhamento de modelos. Nesse caso, se está aninhando o modelo regional para a região do BM-C-39 (POM) em um modelo global (MOM).

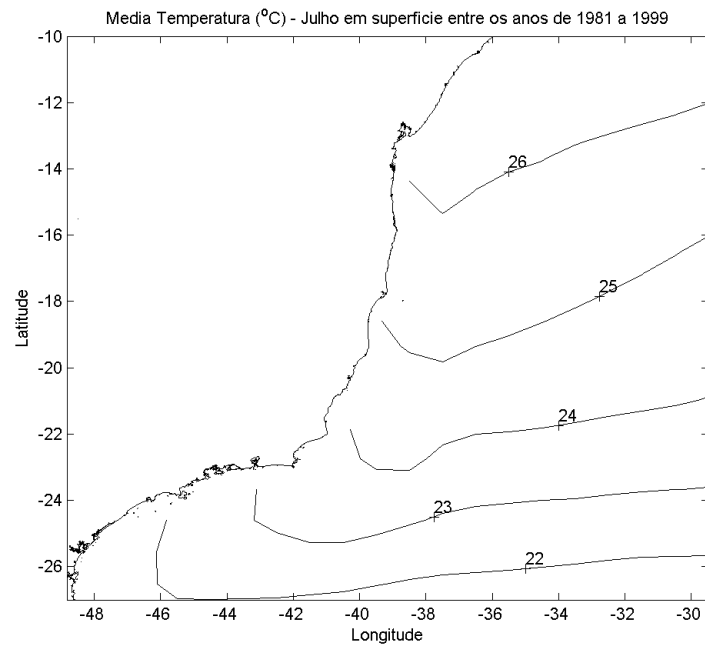


Figura 7: Temperatura média de julho em superfície entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

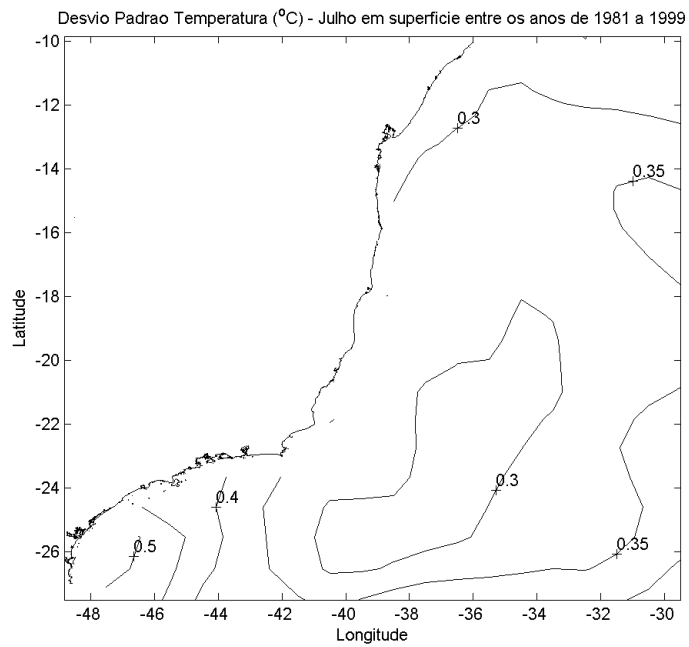


Figura 8: Desvio-padrão da temperatura de julho em superfície entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

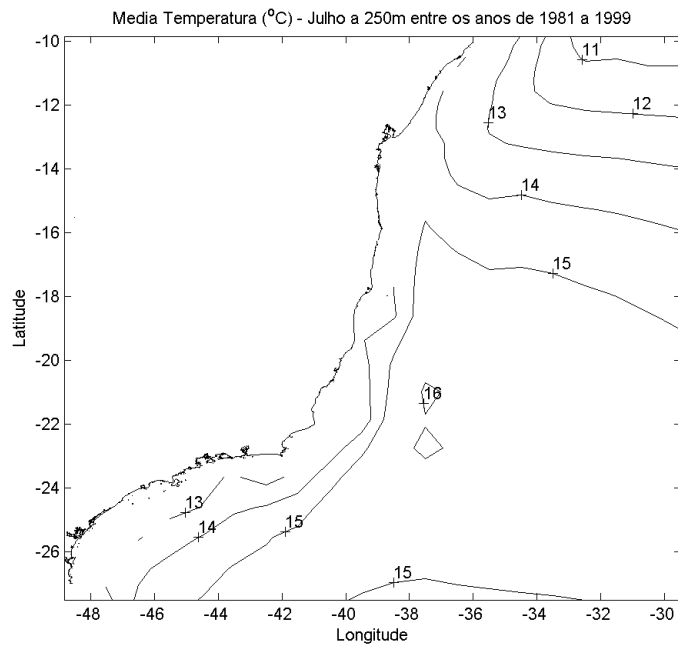


Figura 9: Temperatura média de julho a 250 m entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

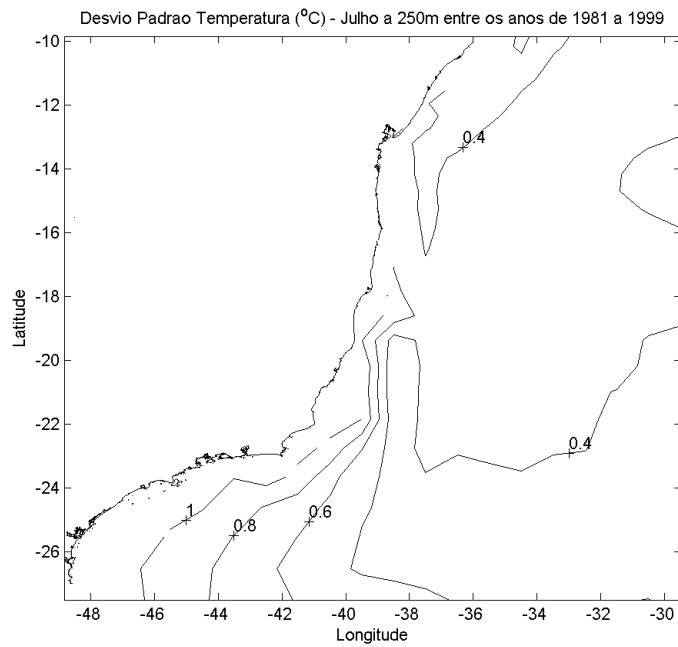


Figura 10: Desvio-padrão da temperatura de julho a 250 m entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

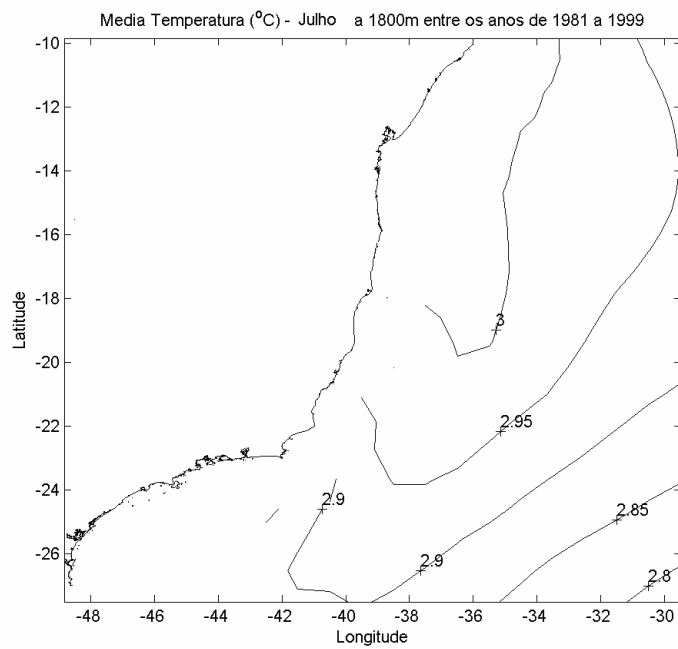


Figura 11: Temperatura média de julho a 1800 m entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

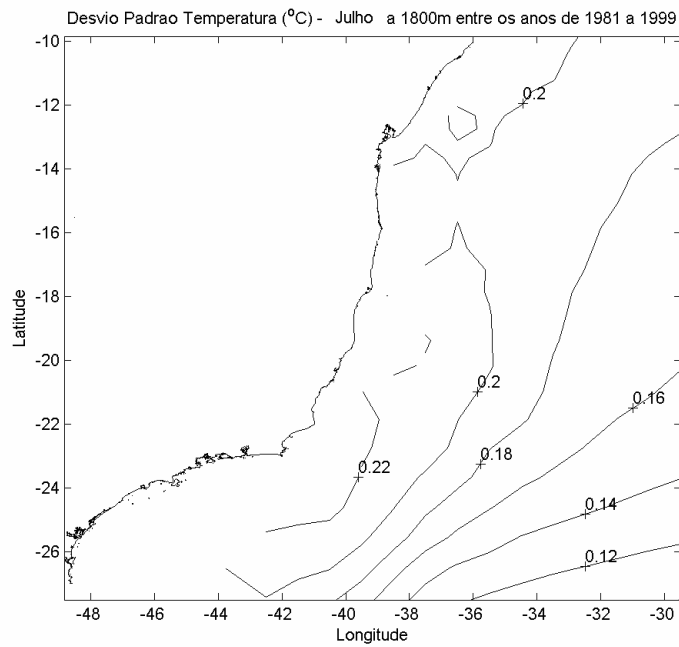


Figura 12: Desvio-padrão da temperatura de julho a 1800 m entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

A partir desses dados médios, realizou-se uma interpolação horizontal e vertical para a grade do POM. Na horizontal os dados foram interpolados para 5 minutos de resolução e na vertical, para os 15 níveis sigma da grade. Exemplos dos campos de temperatura e salinidade médios para o mês de julho, já com a resolução da grade do POM são apresentados da Figura 13 a Figura 15.

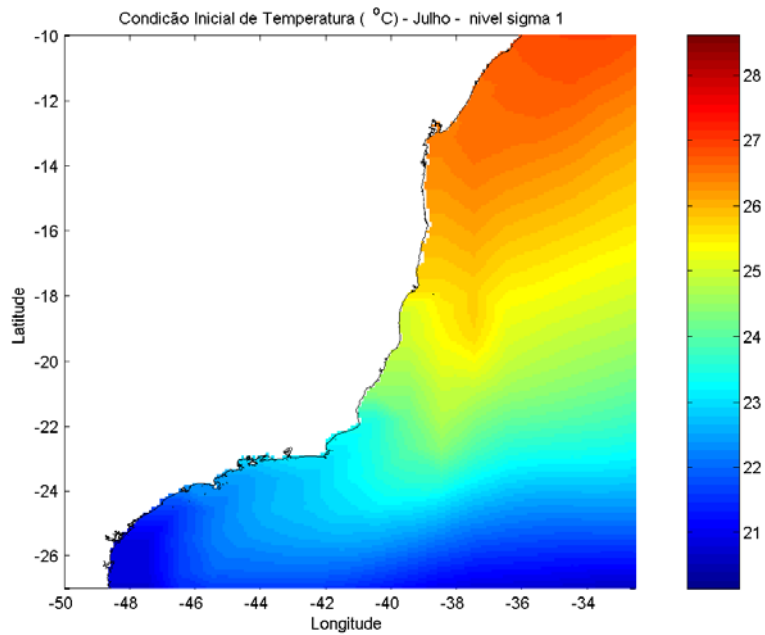


Figura 13: Campo de temperatura interpolada para a grade do POM. Média de julho na 1ª camada sigma.

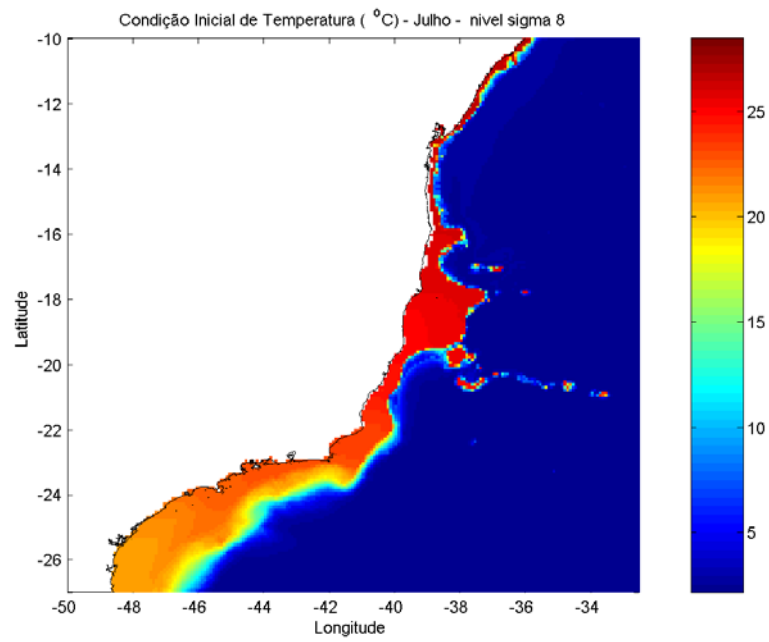


Figura 14: Campo de temperatura interpolada para a grade do POM. Média de julho na 8ª camada sigma.

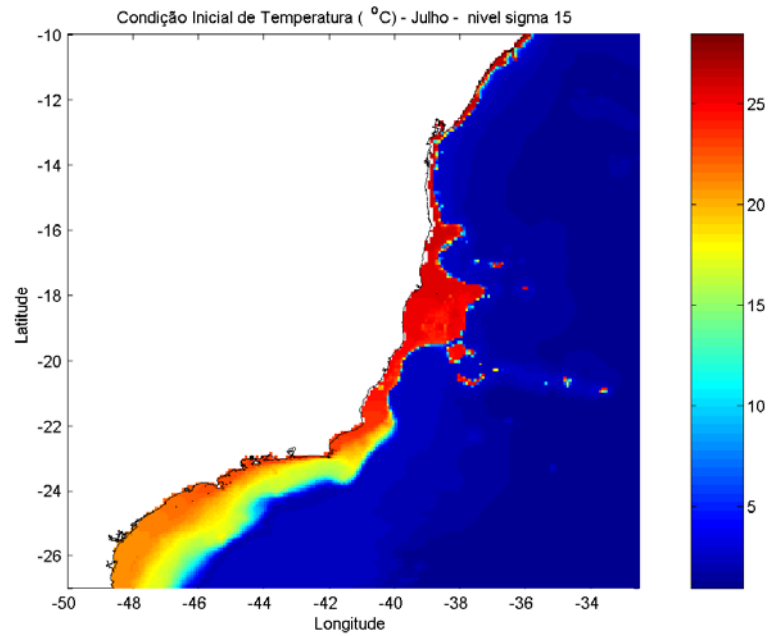


Figura 15: Campo de temperatura interpolada para a grade do POM. Média de julho na 15ª camada sigma.

IV. Condições de Contorno

Quando se utiliza um modelo de área limitada, como é o caso do POM, um dos fatores primordiais é uma escolha adequada das condições de contorno do modelo (Figura 16). Tal escolha deve ser realizada com bastante critério, uma vez que os resultados serão consequência das condições escolhidas.

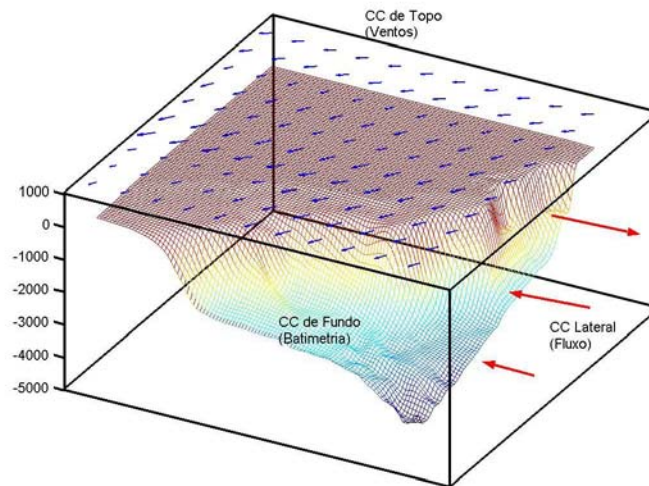


Figura 16: Representação esquemática das condições de contorno a serem definidas em um modelo de área limitada.

IV.1. Condição de Contorno de Fundo

Os dados de batimetria da região foram obtidos com base nos dados ETOPO2 (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/fliers/01mgg04.html>), que possui batimetria e topografia globais com resolução de 2 minutos de arco (cerca de 3,6 km). Esses dados foram então interpolados para a grade do modelo método de Kriging. Após tratamento com um filtro gaussiano bidimensional, obteve-se a matriz de topografia do fundo com 5 minutos de arco de resolução espacial utilizada no modelo hidrodinâmico (Figura 17).

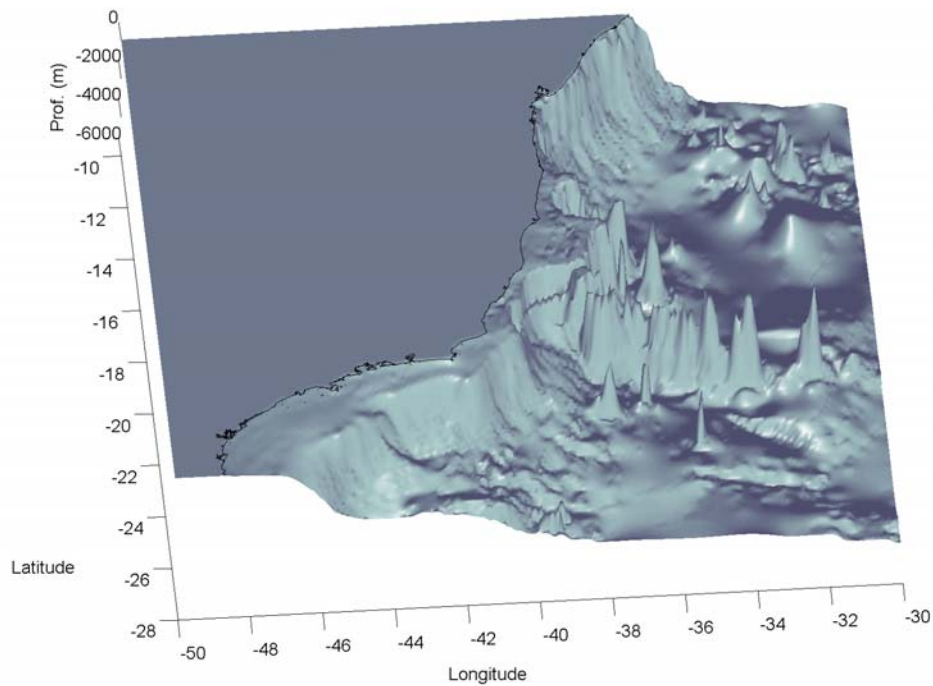


Figura 17: Batimetria da grade do modelo numérico.

IV.2. Condição de Contorno de Superfície

O modelo utiliza dados de tensão de cisalhamento do vento (τ) como condição de contorno de superfície. Esse valor é obtido através de dados de velocidade e direção do vento, utilizando a parametrização proposta por Mascarenhas (1985), que relaciona esses dois parâmetros através da equação a seguir:

Sendo $|V|$ o módulo da velocidade (m/s) do vento a 10 m tem-se, para:

$$0 < |V| < 6 \rightarrow \tau = 0,29 + \left(\frac{3,1}{|V|}\right) + \left(\frac{7,7}{|V|^2}\right)$$

IV.1

$$|V| > 6 \rightarrow \tau = 0,6 + (0,07 * |V|) \quad \text{IV.2}$$

Daí, são obtidos os componentes zonal (τ_x) e meridional (τ_y) da tensão de cisalhamento do vento:

$$\tau_x = -u * |V| * \tau * \frac{\rho_{ar}}{\rho_{\acute{a}gua}} \quad \text{IV.3}$$

$$\tau_y = -v * |V| * \tau * \frac{\rho_{ar}}{\rho_{\acute{a}gua}} \quad \text{IV.4}$$

Onde ρ_{ar} é a densidade média do ar e $\rho_{\acute{a}gua}$ é a densidade de referência da água do mar no local.

Para contemplar o efeito do vento sobre a corrente, foram utilizados os dados de vento obtidos a partir da base de dados do NCEP (Reanálise). A Figura 18 e Figura 19. mostram exemplos de campos de vento utilizados na modelagem hidrodinâmica.

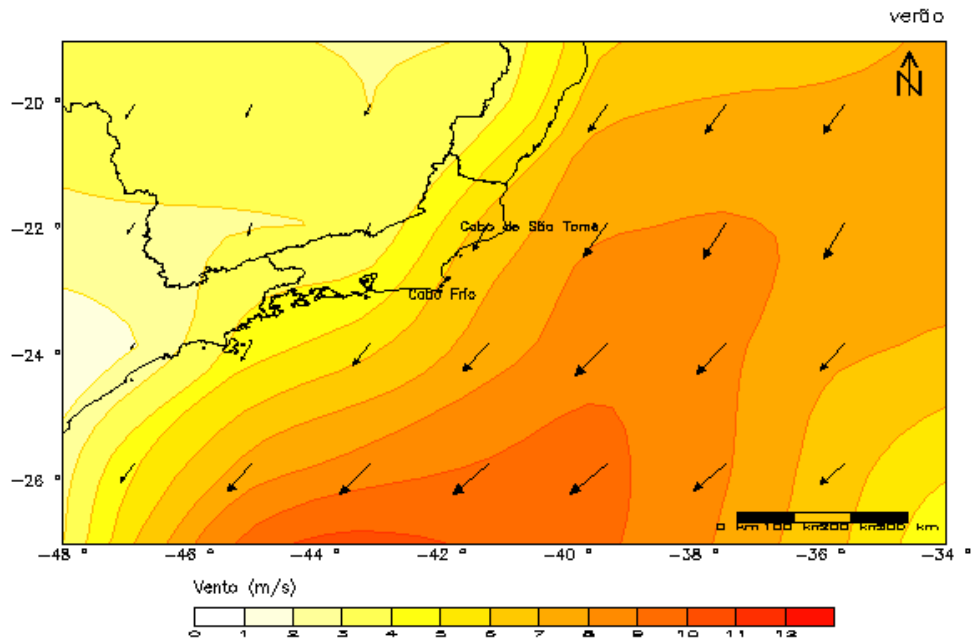


Figura 18: Exemplo do campo de vento (m/s) utilizado para a simulação do período de verão. As cores indicam a magnitude e as setas a direção dos ventos.

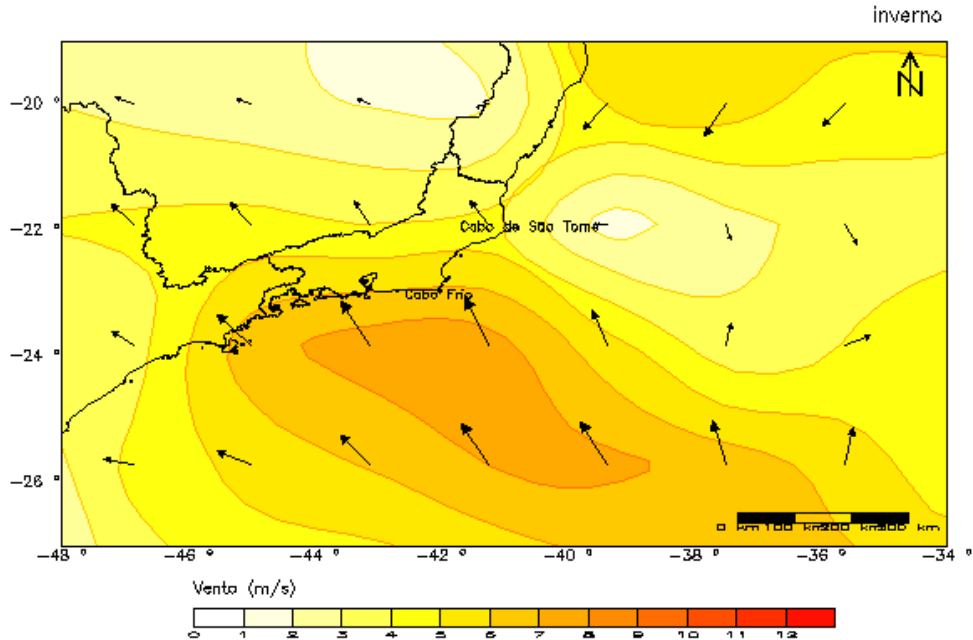


Figura 19: Exemplo do campo de vento (m/s) utilizado para a simulação do período de inverno. As cores indicam a magnitude e as setas a direção dos ventos.

Para representar o balanço de radiação na superfície do oceano, foi utilizado um modelo analítico proposto por Stull (1988). Esse modelo decompõe o termo de radiação líquida (Q^*) em quatro parcelas:

$$Q^* = K \uparrow + K \downarrow + I \uparrow + I \downarrow \quad \text{IV.5}$$

Onde:

- $K \uparrow$ representa a radiação de onda curta (solar) refletida (para cima),
- $K \downarrow$ é a radiação de onda curta transmitida através do ar (para baixo),
- $I \uparrow$ é radiação de onda longa (infravermelho) emitida para cima e
- $I \downarrow$ é a radiação difusiva de onda longa (para baixo)

Os fluxos do oceano para a atmosfera são positivos e os da atmosfera para o oceano são negativos, por definição.

Stull (1988) representa como:

Para o dia:

$$K \downarrow = S * T_K * \text{sen}(\Psi) \quad \text{IV.6}$$

Para a noite:

$$K \downarrow = 0 \quad \text{IV.7}$$

Onde:

S é a irradiância solar (ou constante solar), cujo valor adotado é $S = 1370 \text{ W.m}^{-2}$,

T_K representa a fração da radiação solar que efetivamente chega até a superfície (transmissividade líquida), dada por:

$$T_K = (0,6 + 0,2 * \text{sen}(\Psi)) * (1 - 0,4 * \sigma_{CH}) * (1 - 0,7 * \sigma_{CM}) * (1 - 0,4 * \sigma_{CL}) \quad \text{IV.8}$$

Onde:

σ_C representa a fração de cobertura de nuvens e o subscrito H, M e L, significam, respectivamente, nuvens altas, médias e baixas.

$\text{sen}(\Psi)$ é o ângulo de elevação local do Sol ,dado por:

$$\text{sen}(\Psi) = \text{sen}(\phi) \text{sen}(\delta_S) - \cos(\phi) \cos(\delta_S) \cos \left[\left(\frac{\pi t_{UTC}}{12} \right) - \lambda_e \right] \quad \text{IV.9}$$

onde ϕ é a latitude, λ_e é a longitude (ambos em radianos) e t_{UTC} é o tempo em horas no horário médio de Greenwich. δ_S é o ângulo de declinação solar dado por:

$$\delta_S = \phi_r \cos \left[\frac{2\pi(d - d_t)}{d_y} \right] \quad \text{IV.10}$$

Sendo, ϕ_r a latitude do Tópico de Câncer, d o número do dia do ano, dt o dia do solstício de verão e dy o número médio de dias no ano.

A radiação de onda curta refletida ($K \uparrow$) é dada por:

$$K \uparrow = -a * K \downarrow \quad \text{IV.11}$$

Onde a representa o albedo que é diretamente proporcional ao ângulo solar, variando entre 0,05 com sol a pino e 1 em ângulos de elevação pequenos.

A radiação de onda longa pode ser simplificada em um único termo (I^*), que é a soma de

$I \downarrow$ e $I \uparrow$:

$$I^* = 0,08 * (1 - 0,2\sigma_{CH} - 0,3\sigma_{CM} - 0,6\sigma_{CL}) \quad \text{IV.12}$$

juntando todas as parametrizações para as radiações de onda longa e curta, o modelo de balanço radiativo torna-se:

Durante o dia:

$$Q^* = (1 - a) * S * T_K * \text{sen}(\Psi) + I^* \quad \text{IV.13}$$

Durante a noite:

$$Q^* = +I^* \quad \text{IV.14}$$

Em virtude da dificuldade em se prever a dinâmica das nuvens, e portanto, a quantidade de nuvens baixas, médias e altas presentes, optou-se por tratar a o balanço de radiação sem a ação de atenuação das nuvens.

Em relação à salinidade em superfície ($wssurf$), a condição de contorno é dada por $wssurf(i,j) = vflux(i,j) * (satm - s(i,j,1))$, onde $vflux$ é a velocidade vertical, $satm$ é a pressão atmosférica e $s(i,j,1)$ é a salinidade na primeira camada sigma.

IV.3. Condição de Contorno Lateral

As condições de contorno abertas (CCA) em modelagem oceânica possuem impacto crucial na solução do interior do domínio. Isso é em boa parte devido ao fato de que as escalas de tempo associadas às propagações de ondas através da região oceânica são comparáveis com o comprimento da simulação em si, quando não são muito menores. Uma onda barotrópica, por exemplo, pode cruzar uma região com profundidade de 100m e largura de 100 km em cerca de 1 hora e uma onda interna com velocidade típica de 1 m/s, a cruza em cerca de 1 dia. Isso é muito menor do que a duração de uma previsão típica, que é de no mínimo 1 semana. Além disso, é fato conhecido que as CCAs levam a soluções matematicamente mal-postas (Oliger e Sundström, 1978) e que não existem soluções genéricas. Atualmente, os problemas de condições de contorno abertas podem ser consideradas como os aspectos mais desafiadores da modelagem numérica de oceano (Marsaleix et al., 2006).

As CCAs possuem basicamente dois objetivos. Primeiramente, estabelecer as condições de entrada no domínio para forçar a solução do interior com campos externos, obtidos de observações ou de modelos de maior escala. Ao mesmo tempo, estas devem funcionar como saída, permitindo que as ondas sejam irradiadas para fora ou que as massas d'água saiam do domínio sem que haja reflexões espúrias nas fronteiras. No entanto, é bastante difícil satisfazer a ambos os objetivos simultaneamente e os modelos tendem a escolher localmente qual deles irá utilizar, de acordo com o caráter de entrada ou saída da dinâmica ali presente. A direção da propagação da onda é frequentemente obtida através da inversão de uma equação de propagação de onda baseada nas variáveis modeladas nas vizinhanças da fronteiras abertas. O caráter de entrada ou saída da dinâmica local é então determinado pelo sinal da velocidade de fase da onda calculada na direção normal à fronteira (Orlanski, 1976).

A maioria das condições de contorno foram amplamente estudadas nos últimos 20 anos (Palma e Matano 1998, 2000). Esses estudos fornecem comparações ente diversas CCAs em casos bem determinados (propagação de ondas livres, jatos costeiros forçados por vento, propagação de tempestades etc.) para os quais existe uma solução de referência (soluções analíticas ou mesmo numéricas validadas com observações). Em resumo, os esquemas mais utilizados podem ser divididos em três classes (Palma e Matano, 1998): 1) condições radiativas (Blumberg e Kantha, 1985), 2) Métodos característicos (Hedstrom, 1979), 3) Métodos de relaxação (Martinsen e Engedahl, 1987).

No modelo hidrodinâmico do Bloco BM-C-39, são utilizadas CCAs dos 3 tipos. Para velocidades baroclínicas (tanto u , quanto v), temperatura e salinidade nas fronteiras norte e sul, foram utilizadas CCAs com método de relaxação (Zavatarelli, 1999), que será descrita a seguir, enquanto na fronteira leste foi utilizada uma condição radiativa (Orlanski, 1976) para estas mesmas variáveis (vide resposta da questão 2). Já para as velocidades barotrópicas nas 3 fronteiras, utilizou-se a condição proposta por Flather (1976):

$$U_f = -\sqrt{g/h^*}(\eta - \eta_{ext}) \quad \text{IV.15}$$

Onde U_f é a velocidade barotrópica na fronteira, g é a aceleração da gravidade, h é a profundidade e η é a elevação do nível do mar, dentro e na fronteira do domínio.

Para elevação do nível do mar foi utilizada uma condição radiativa (gradiente zero) já descrita na resposta anterior.

As CCAs para as velocidades baroclínicas, temperatura e salinidade seguiram o procedimento proposto por Zavatarelli, (1999), no qual dados de um modelo de maior escala (OCCAM, nesse caso) são prescritos nas fronteiras do modelo sendo interpolados linearmente no tempo.

As temperaturas e salinidades nas imediações da fronteira sul e norte são relaxadas para os dados climatológicos do OCCAM conforme Ezer & Mellor (2000):

$$\phi_J^{n+1} = \phi_J^{n+1} + cff * (\phi_{c\text{lim}} - \phi_J^{n+1}) \quad \text{IV.16}$$

Onde:

Φ representa a temperatura ou salinidade;

J é o índice da linha, e nesse caso, a condição é aplicada nas dez linhas mais próximas das fronteiras;

n representa o tempo (sendo portanto n+1 o tempo avançado);

Φ_{clim} representa dados extraídos do OCCAM;

cff é o termo de relaxação, dado por:

$$cff = c1 - (c1 - c2) * \pm(J - B) / 10 \quad \text{IV.17}$$

Onde:

B representa a linha correspondente à fronteira norte ou sul;

c1 e c2 são termos de relaxação temporal, dados por:

$$C1 = 2 * dti / srt \quad \text{IV.18}$$

$$C2 = 2 * dti / wrt \quad \text{IV.19}$$

Onde dti é o passo de tempo interno do modelo, srt e wrt são os tempos de relaxação. Nesse caso, foi utilizado srt = 5 dias e wrt = 30 dias.

Com isso, obtém-se uma “zona de relaxação” nas fronteiras, na qual os dados vão sendo forçados para valores climatológicos em períodos que variam de 5 a 30 dias, dependendo da distância da fronteira.

Os dados de correntes foram tratados da mesma maneira que os de temperatura e salinidade (Figura 20).

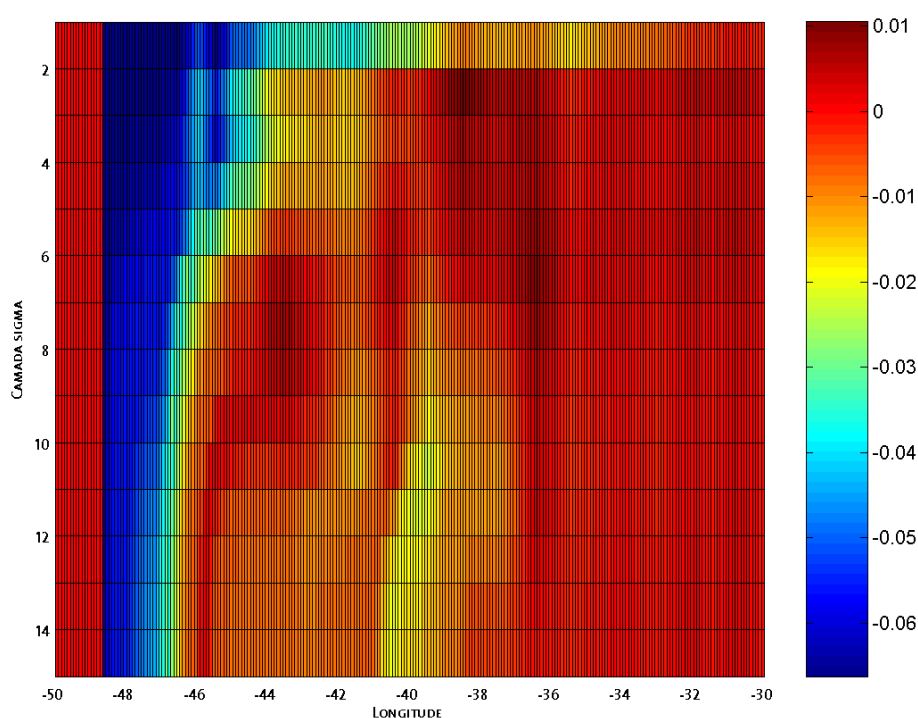


Figura 20: Condição de contorno lateral (fluxo de momento) do modelo hidrodinâmico. Velocidade em (m/s).

Os valores negativos indicam fluxo para sul e os positivos para norte. Notam-se maiores valores em superfície entre as longitudes de 49° e 47° W com direção sul, associados à CB. Entre as longitudes de 44° a 38° W nas camadas sigma de 2 a 9 existe uma contra corrente com direção norte, associada ao fluxo da Água Intermediária Antártica.

IV.3.1. Elevação do Nível do Mar

Para incluir a propagação da onda de maré, foi utilizada a condição de contorno de elevação na fronteira leste do modelo. Esses dados foram obtidos através das constantes harmônicas fornecidas pelo modelo FES95 modelo (de “Finite Element Solutions”). As equações governantes do FES95 são as equações de águas rasas, barotrópicas e não-

lineares, resolvidas utilizando método de elementos finitos. Para a fricção com o fundo é utilizada parametrização quadrática, mais adequada para regiões de águas rasas. A forçante de maré é baseada no desenvolvimento astronômico do potencial de maré, levando em conta as correções dos efeitos de maré terrestre (earth tides) e maré de carga (load tides) sendo ainda realizada assimilação de dados de altimetria de satélite. (Le Provost et al. 1995). A batimetria é retirada do banco de dados ETOPO5 do National Geophysical Data Center (NGDC) do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

São simuladas oito constituintes de maré (M2, S2, N2, K2, N2, K1, O1 e Q1) em todo globo, excluindo-se alguns mares interiores e baías como a Baía de Fundy. A grade do modelo FES95 apresenta resolução variável, porém os resultados que foram colocados a disposição da comunidade científica estão em grades de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. A partir destes, foram então retirados os dados de fase e amplitude de sete componentes (M2, S2, N2, K2, K1, O1 e Q1) para os pontos da fronteira leste da grade. Com esses dados foi realizada a previsão de maré, incluída como condição de contorno de elevação no POM. Esses dados foram interpolados linearmente para que cada ponto de grade da fronteira leste possua um valor de elevação correspondente. A Figura 21 mostra duas séries temporais de elevação utilizadas como condição de contorno; no primeiro (linha vermelha) e no último ponto de grade da fronteira leste (linha azul).

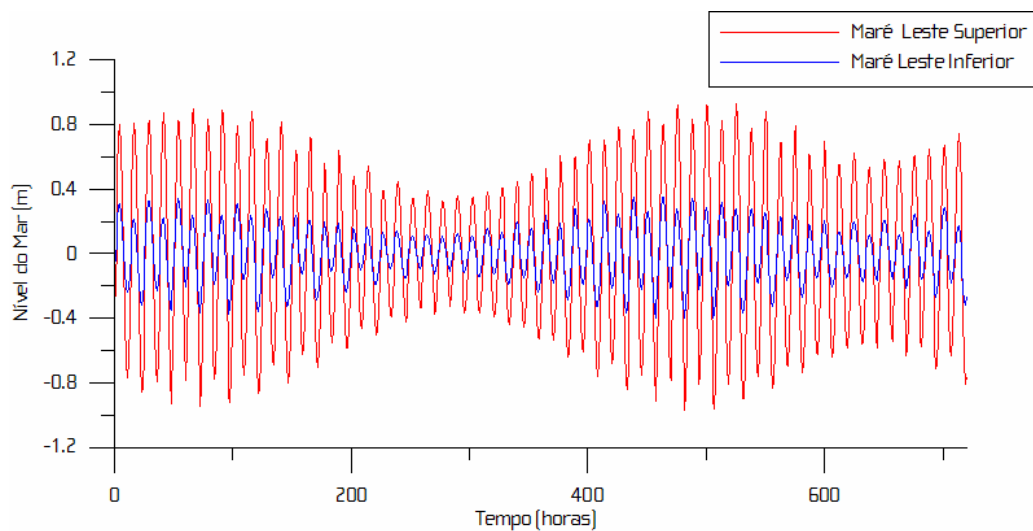


Figura 21: Condição de contorno de topo (elevação do nível do mar) do modelo hidrodinâmico.

Nas fronteiras norte e sul, a condição de contorno utilizada para a elevação é a de gradiente zero, representadas pela equação a seguir:

$$\frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \quad \text{IV.20}$$

Ou seja se a onda ali e propagando estiver saindo do domínio, esta condição tenta simular a saída da onda na fronteira sem reflexão e se estiver entrando, tenta fazer com que os efeitos da entrada sejam sentidos pelo interior do domínio.

IV.3.2. Correntes

As condições de contorno para as velocidades nas fronteiras norte e leste são as radiativas de Orlandi:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + C * \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0 \quad \text{IV.21}$$

Onde:

ϕ representa a componente meridional ou zonal da velocidade;

C é a velocidade de propagação das ondas que atingem a fronteira;

IV.3.3. Temperatura

A condição para temperatura e salinidade é a advecção upstream:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + v * \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0 \quad \text{IV.22}$$

V. RESULTADOS

V.1. Avaliação do Modelo

Para que possamos saber se o comportamento do sistema de previsão é suficientemente compatível com o "sistema real" é necessário realizar uma comparação entre os resultados obtidos nos dois mundos; o "real" e o simulado.

A nomenclatura contemporânea para tal estudo é "avaliação". Embora possa parecer um rótulo de pouca importância, os termos anteriormente utilizados para tal fim, sempre foram controversos. A primeira nomenclatura "validação" foi substituída por "comparação histórica", a qual foi complementada com o termo "garantia de qualidade". A dificuldade em se definir um termo reside no fato de que as palavras "validação" e "garantia" trazem em si uma expectativa de positivo e negativo em relação aos resultados. O modelo poderia ser somente válido ou não válido, garantido ou não garantido. Nesse sentido, o termo "avaliação" torna-se mais adequado, uma vez que é neutro e pode abarcar uma gama maior de definições em termos de qualificação do modelo ou sistema (Beck, 2002).

Em essência, são duas as principais perguntas que devem ser respondidas quando se avalia um modelo ou sistema:

1. O modelo foi construído com materiais aprovados, i.e. as hipóteses constituintes são consagradas e adequadas?
2. O seu comportamento se aproxima bem do observado com respeito ao "mundo real" ?

A primeira pergunta pode ser respondida com o grande número de artigos publicados em revista internacionais utilizando o POM para estudos de circulação oceânica em diversas escalas, nos mais variados corpos d'água.

Para responder a segunda pergunta foram realizadas comparações entre dados observados e os resultados obtidos pelo modelo, considerando diversos aspectos da dinâmica oceânica local.

V.1.1. Transporte de Volume

Para a avaliação de valores de transporte de volume são utilizados os mesmos dados analisados por Lima (1997). O método do cálculo do transporte de volume a partir dos dados de corrente foi o "método da caixa", adotado por Lima (1997). A Figura 22 apresenta um diagrama indicando a metodologia adotada.

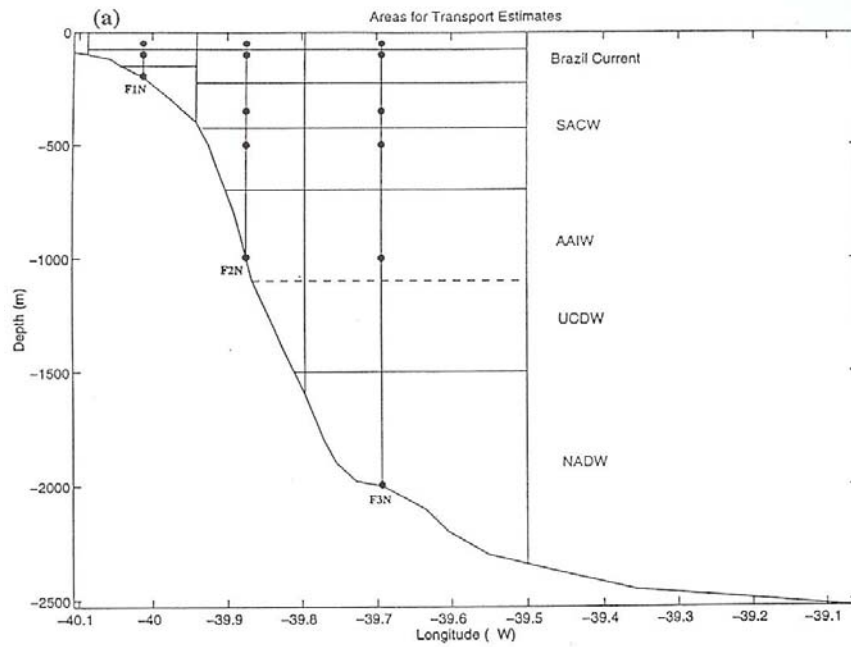


Figura 22: Representação esquemática da metodologia utilizada para o cálculo do transporte de volume (Lima, 1997).

Para obter-se os dados de transporte de volume modelados, os mesmos dados selecionados para as comparações das componentes meridionais de corrente foram utilizados. Os valores dessas componentes foram multiplicados pelas áreas escolhidas por Lima (1997), obtendo-se então o transporte de volume. As comparações podem ser observadas da Figura 23 à Figura 26.

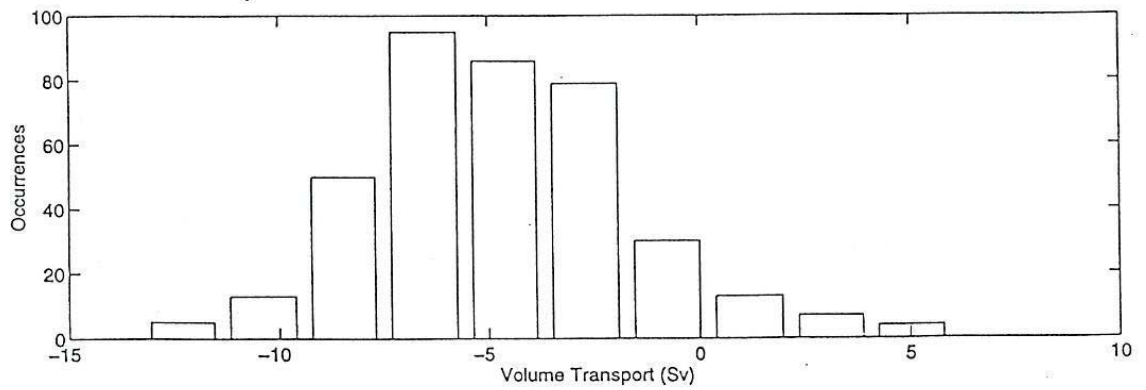


Figura 23: Histograma do transporte de volume da Corrente do Brasil entre maio de 1994 e maio de 1995, obtido por Lima (1997).

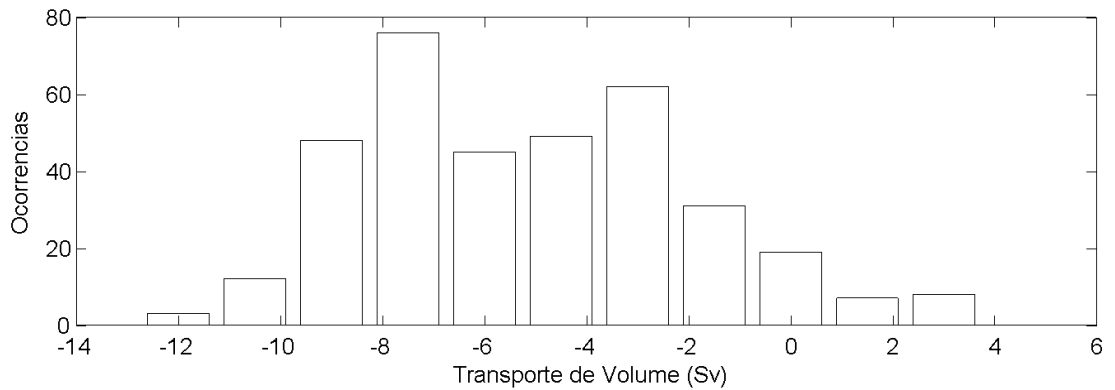


Figura 24: Histograma do transporte de volume da Corrente do Brasil para o ano de 1999 obtido pelo modelo numérico.

Lima (1997) encontrou transporte de volume médio para a Corrente do Brasil naquela região de -5.5 ± 2.6 Sv, contra $-5,1 \pm 3,2$ Sv calculados pela simulação, o que reflete boa concordância. Esse fato pode ser observado também nos histogramas, que apresentam comportamento bastante similar.

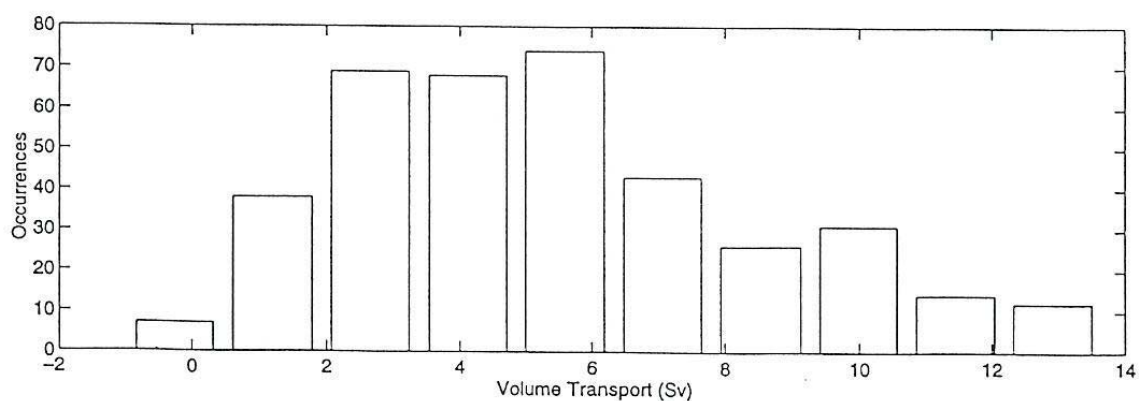


Figura 25: Histograma do transporte de volume da Contra Corrente Intermediária entre maio de 1994 e maio de 1995, obtido por Lima (1997).

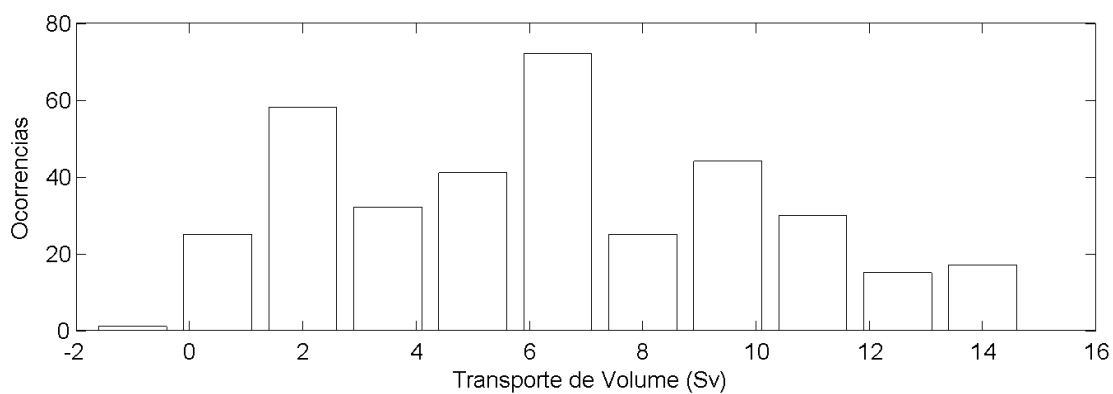


Figura 26: Histograma do transporte de volume da Contra Corrente Intermediária para o ano de 1999 obtido pelo modelo numérico.

O mesmo pode-se dizer em relação ao transporte da Contra Corrente Intermediária. Os valores simulados, $6,3 \pm 3,8$ Sv, são bem próximos aos calculados por Lima (1997), $6,6 \pm 3,5$ Sv, com histogramas apresentando comportamentos semelhantes.

V.1.2. Estrutura Termohalina

A fim de avaliar se as condições iniciais e as condições de contorno do modelo são capazes de representar de maneira adequada a estrutura termohalina da região, foram

realizadas comparações entre dados observados e modelados. Foram analisados dados de TSM obtidos por sensores AVHRR e perfis verticais de temperatura, salinidade e densidade medidos na região da Bacia de Campos (Lima, 1997).

Os dados de TSM estimados pelo sensor AVHRR são disponibilizados pelo projeto WOCE através da rede mundial de computadores no endereço <http://poet.jpl.nasa.gov>. A TSM é disponibilizada com resolução espacial de aproximadamente 5 minutos de arco (9,2 km) em forma de composições de oito dias.

Foram escolhidos dois períodos para as comparações; janeiro e junho. Essas datas foram selecionadas por serem as que apresentaram menor cobertura de nuvens e também para verificar se a variação sazonal do modelo estaria compatível com as observações.

Da Figura 27 até a Figura 32 são apresentados os dados de TSM estimados pelo satélite e obtidos pelo sistema de previsão, assim como o erro relativo.

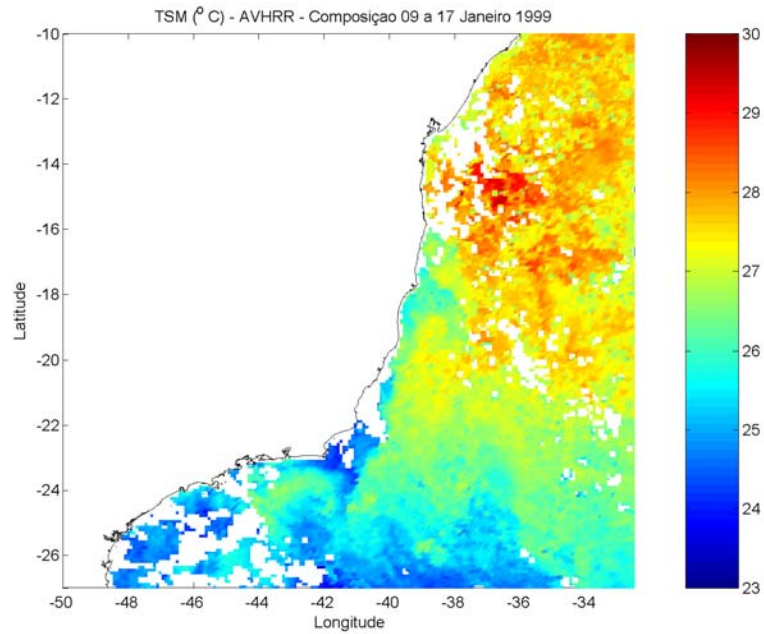


Figura 27: Temperatura da Superfície do Mar entre os dias 9 e 17 de janeiro de 1999 obtidos pelo sensor AVHRR. Dados disponibilizados pelo Projeto WOCE.

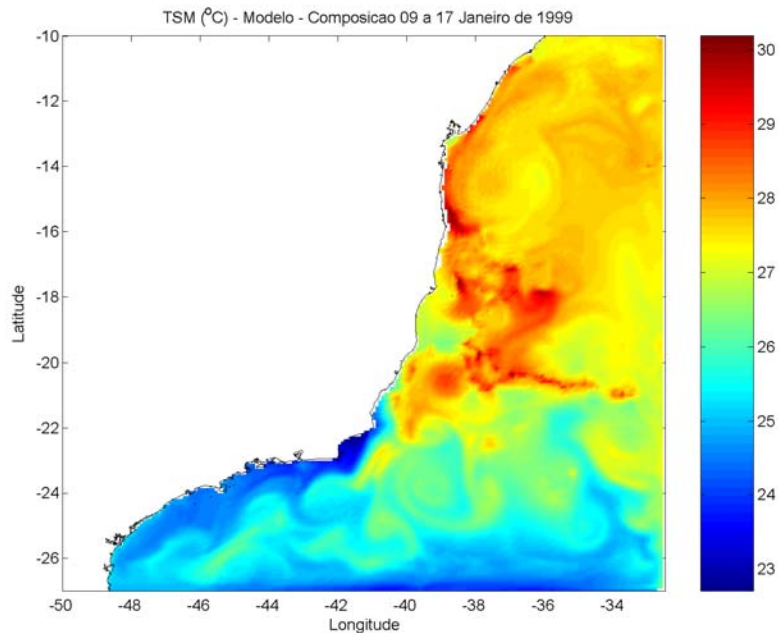


Figura 28: Temperatura da Superfície do Mar entre os dias 9 e 17 de janeiro de 1999 obtidos pelo modelo numérico.

Entre as latitudes de 10° a 22° S, pode-se observar, tanto nos dados obtidos por satélite, quanto nos simulados (Figura 27 e Figura 28), temperaturas em torno de 30° . A partir de 22° S, a TSM das águas transportadas pela Corrente do Brasil diminui, chegando a cerca de 26° C. As áreas adjacentes também apresentam menores valores em direção ao sul, passando de 28° C entre 10° e 20° S, a 26° C entre 20° e 24° S, até atingirem cerca de 24° C na região mais ao sul da grade.

Observa-se na região do Banco de Abrolhos, uma área de temperatura mais baixa (cerca de 26° C), em relação as águas adjacentes, talvez relacionado ao fato da Corrente do Brasil se deslocar em direção ao largo ao encontrar as menores profundidades do banco.

Na região costeira desde o Cabo de São Tomé até o final da grade, as temperaturas são as menores, chegando a 23° C em Cabo Frio.

O erro médio quadrático entre os dados observado e modelado para esse período é de $0,8^{\circ}$ C e as diferenças relativas de temperatura (Figura 29) são no máximo 5 %.

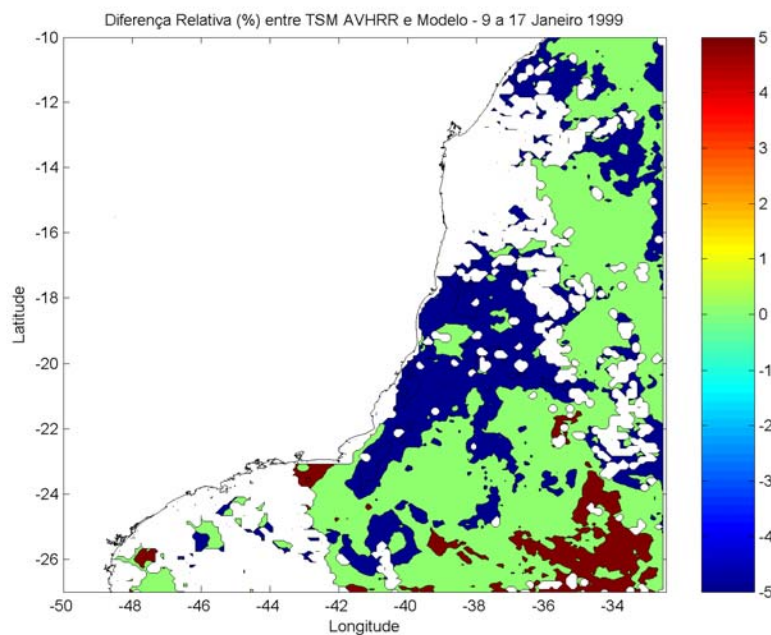


Figura 29: Diferença relativa (%) entre a TSM obtida pelo sensor AVHRR e pelo modelo numérico para o período de 9 e 17 de janeiro de 1999.

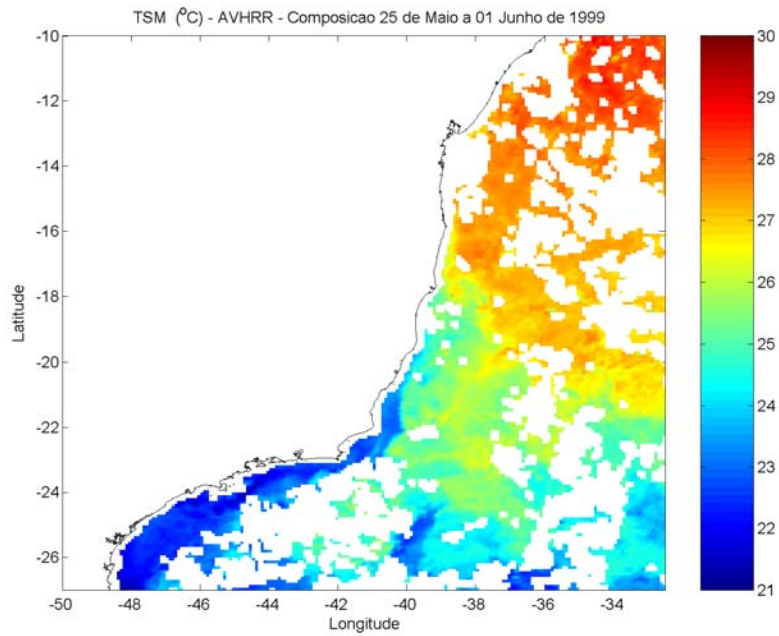


Figura 30: Temperatura da Superfície do Mar entre os dias 25 de maio e 1º de junho de 1999 obtidos pelo sensor AVHRR. Dados disponibilizados pelo Projeto WOCE.

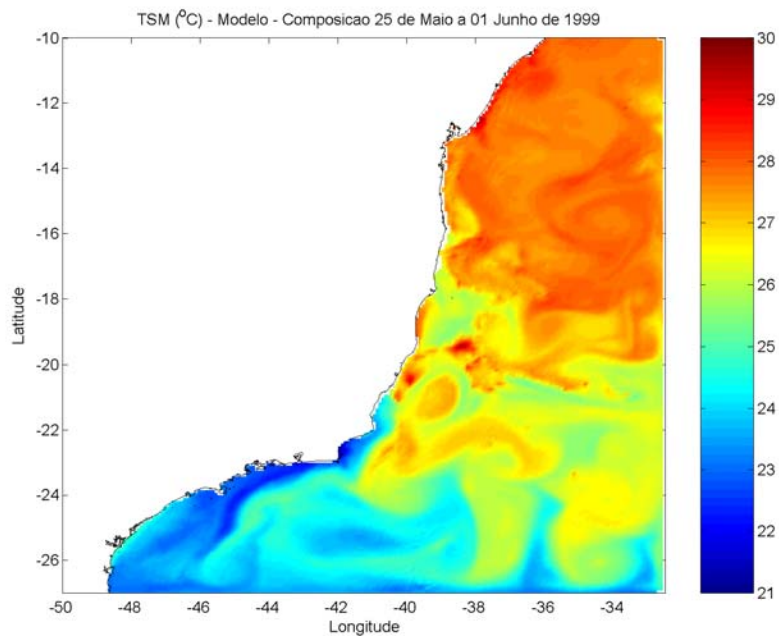


Figura 31: Temperatura da Superfície do Mar entre os dias 25 de maio e 1º de junho de 1999 obtidos pelo modelo numérico.

Para o período de maio/junho pode-se notar que as temperaturas mínimas chegam a 21° C, contra 23° C para o mês de janeiro. As temperaturas entre as latitudes de 10° a 22° S continuam em torno de 29° C. A latitude na qual a TSM começa a diminuir, agora é em torno de 20° C chegando a cerca de 25° C.

Na região costeira desde o Cabo de São Tomé até o a costa de Santa Catarina, as temperaturas estão entre 22 e 21° C.

O erro médio quadrático entre os dados observado e modelado para esse período é de $1,1^{\circ}$ C e as diferenças relativas de temperatura (Figura 29) alcançam, localizadamente, até 10%.

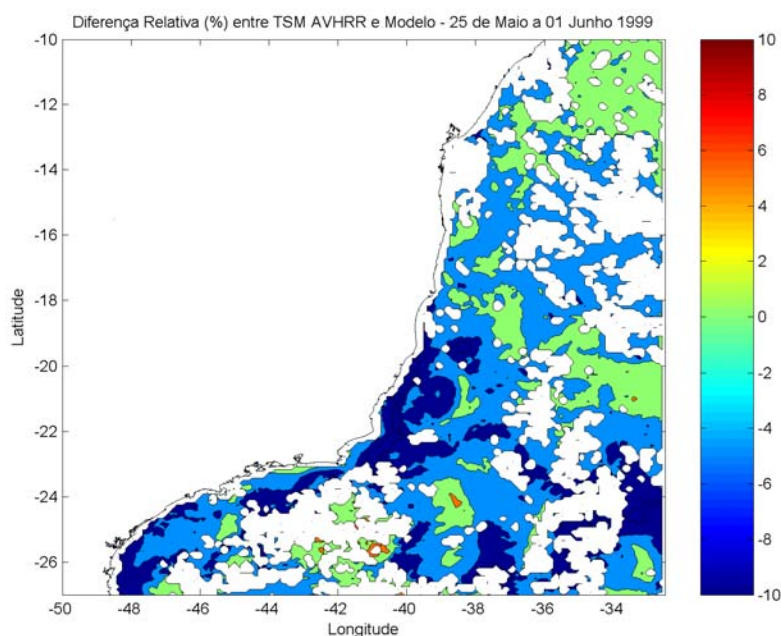


Figura 32: Diferença relativa (%) entre a TSM obtida pelo sensor AVHRR e pelo modelo numérico para o período de 25 de maio a 1^o de junho de 1999.

As comparações indicam que as condições iniciais e de contorno foram eficientes em reproduzir a variação sazonal da TSM. A posição da frente de temperatura também foi bem representada, evidenciando que a posição da Corrente do Brasil está compatível com o que se observa.

Para avaliar a estrutura termohalina ao longo da coluna d'água, foram comparados dados medidos pelo Projeto P2000, apresentados por Lima (1997). Os gráficos da Figura 33 até a Figura 38 mostram seções verticais na latitude de 22° S da temperatura potencial, salinidade e densidade potencial observados e modelados.

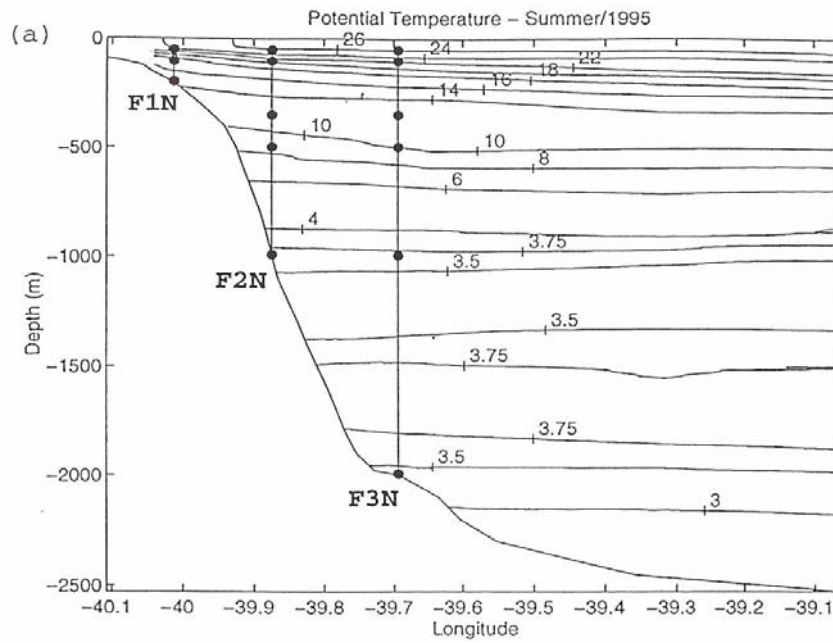


Figura 33: Seção vertical da temperatura potencial (oC) na latitude de 22° S obtida por medições in situ no verão de 1995. Fonte: Lima, 1997.

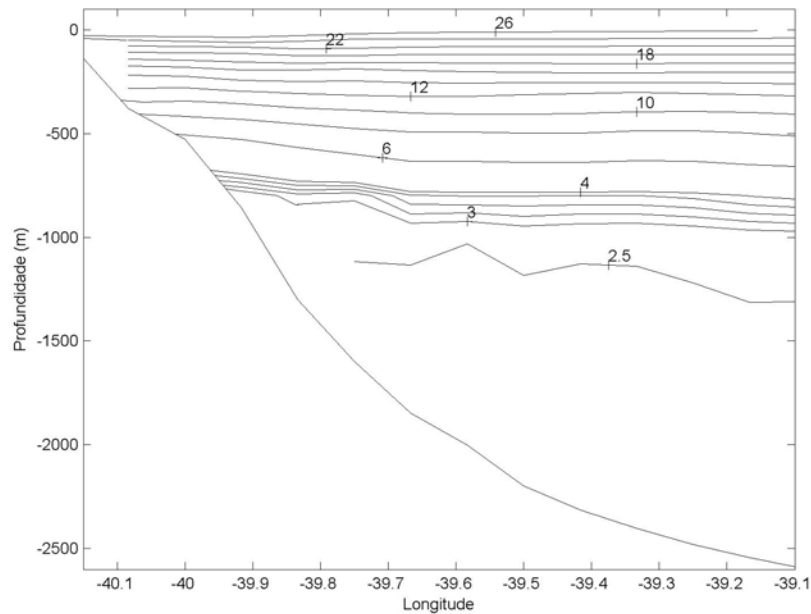


Figura 34: Seção vertical da temperatura potencial (oC) na latitude de 22° S obtida pelo modelo numérico no verão de 1999.

Os perfis verticais de temperatura potencial (Figura 33 e Figura 34) mostram configurações bastante similares. A posição das isotermas em relação a profundidade estão bastante próximas. Porém, nota-se que a partir da isoterma de 4° C, localizada entre as profundidades de 700 a 800m, o gradiente de temperatura é maior no modelo do que nos dados medidos, o que faz com que o modelo possua temperaturas mais baixas em águas mais profundas, chegando a 2,5° C.

Os perfis de salinidade (Figura 35 e Figura 36) mostram comportamentos semelhantes. A localização e os valores do mínimo de salinidade, associado à presença da Água Intermediária Antártica, são próximos, assim como a posição das isohalinas, e os valores de máxima salinidade em superfície.

Isso indica boa representação da estrutura vertical do modelo comparando-se com o que se observa na região da Bacia de Campos.

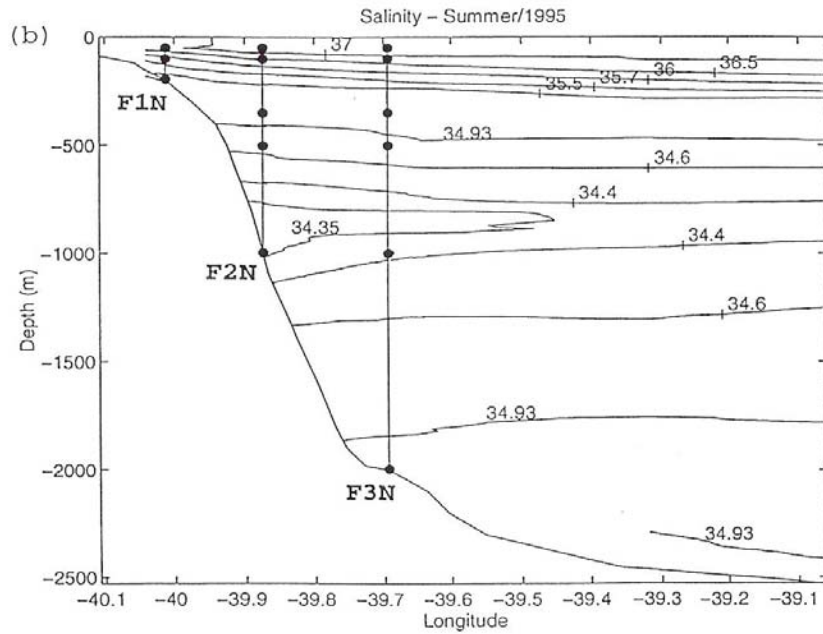


Figura 35: Seção vertical da salinidade na latitude de 22° S obtidos por medições in situ no verão de 1995. Fonte: Lima, 1997.

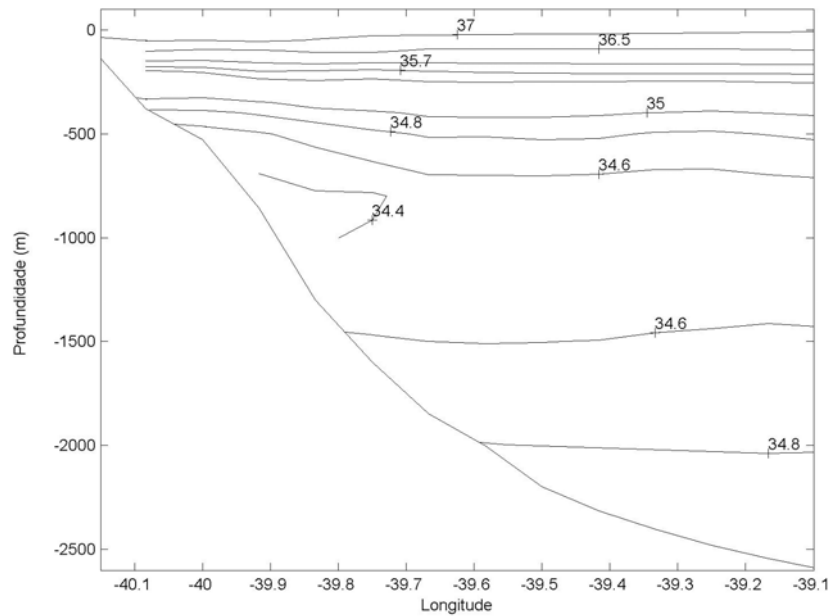


Figura 36: Seção vertical da salinidade na latitude de 22° S obtidos pelo modelo numérico no verão de 1999.

Como as estruturas verticais de temperatura e salinidade são semelhantes, esse fato reflete-se na distribuição da densidade potencial, que apresenta padrões compatíveis entre as observações e a simulação (Figura 37 e Figura 38).

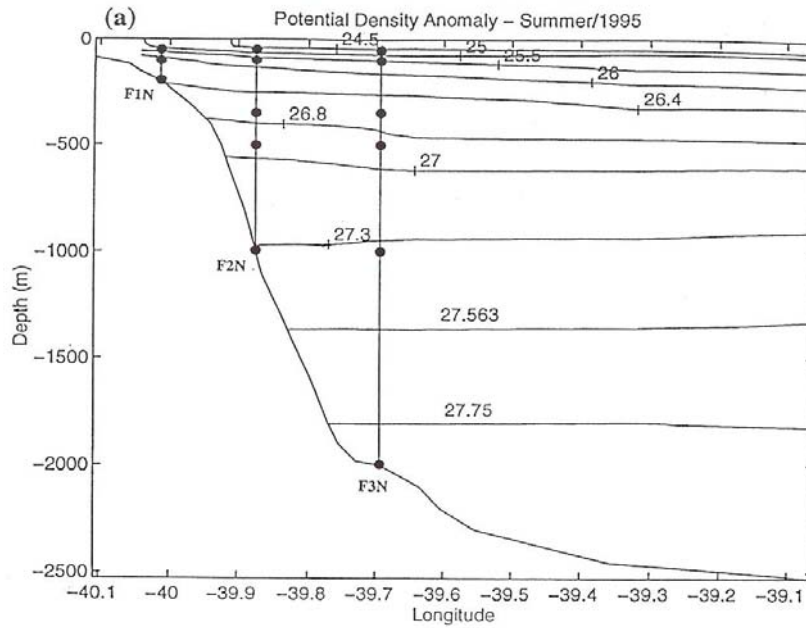


Figura 37: Seção vertical da densidade potencial na latitude de 22° S obtidos por medições in situ no verão de 1995. Fonte: Lima, 1997.

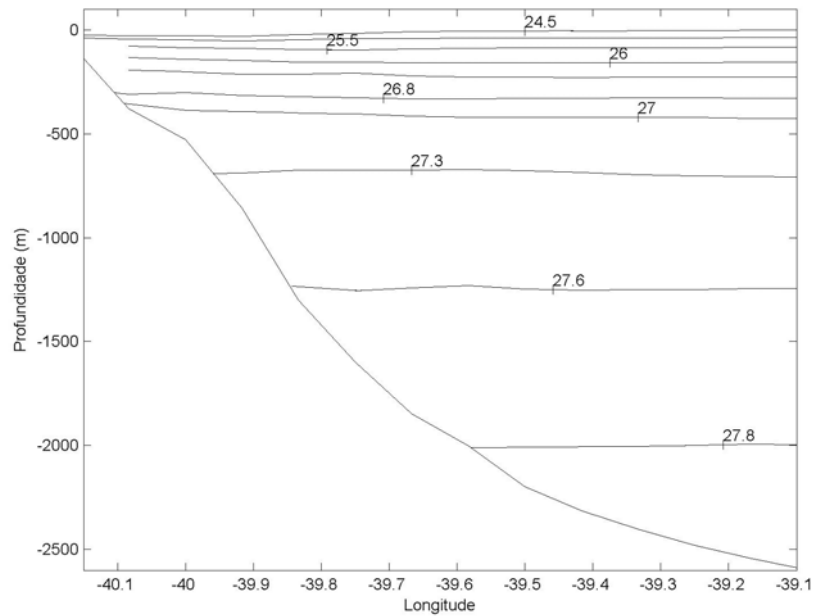


Figura 38: Seção vertical da densidade potencial na latitude de 22° S obtidos pelo modelo numérico no verão de 1999.

V.1.3. Campos de Corrente

Os resultados mostram que o sistema foi capaz de representar as principais feições de corrente presentes nas Bacias de Campos e Santos, ou seja, a Corrente do Brasil (Figura 39) e a contra corrente associada ao fluxo da Água Intermediária Antártica (Figura 40).

Outro resultado do modelo que não foi comparado com observações, mas que comporta-se como indica a literatura é a corrente que seria associada ao fluxo da Água Profunda do Atlântico Norte, em profundidades maiores que 2000m (Figura 41).

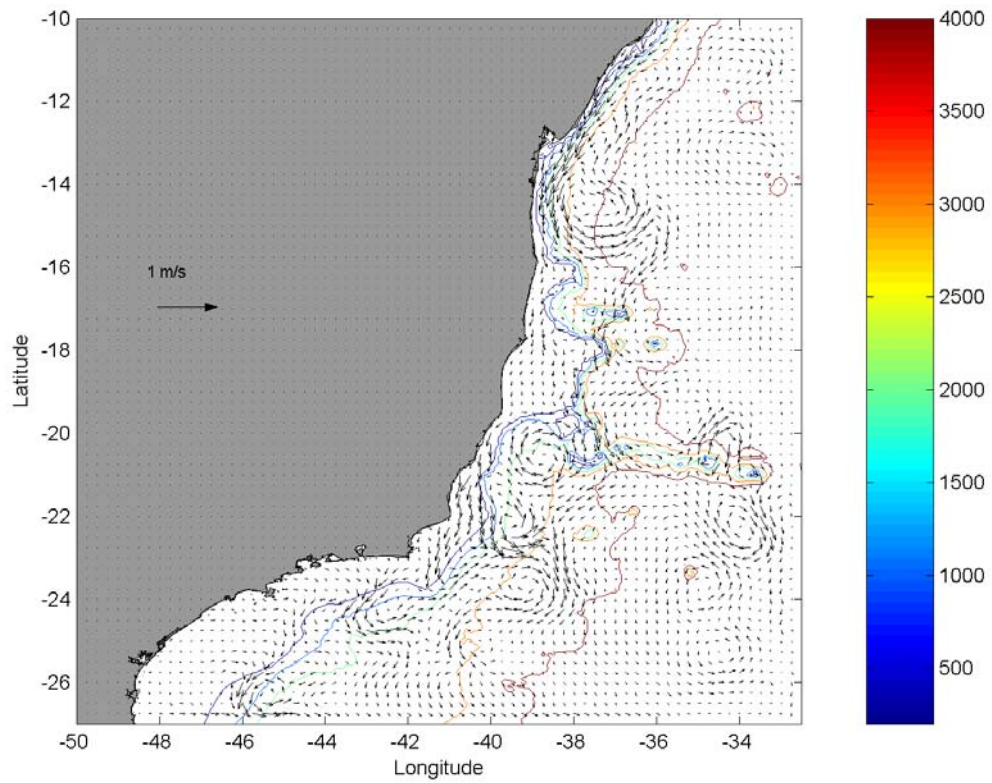


Figura 39: Correntes (m/s) em superfície obtidas pelo modelo numérico. A escala de cores refere-se à batimetria em metros.

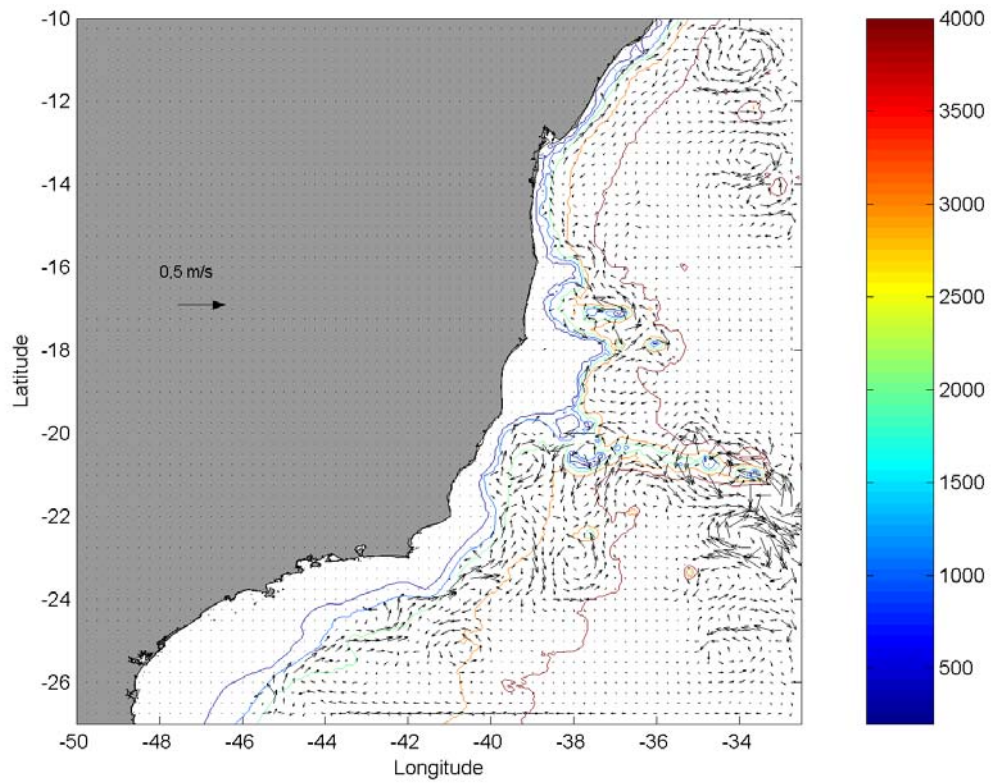


Figura 40: Correntes (m/s) a 1000 m obtidas pelo modelo numérico. A escala de cores de refere-se à batimetria em metros.

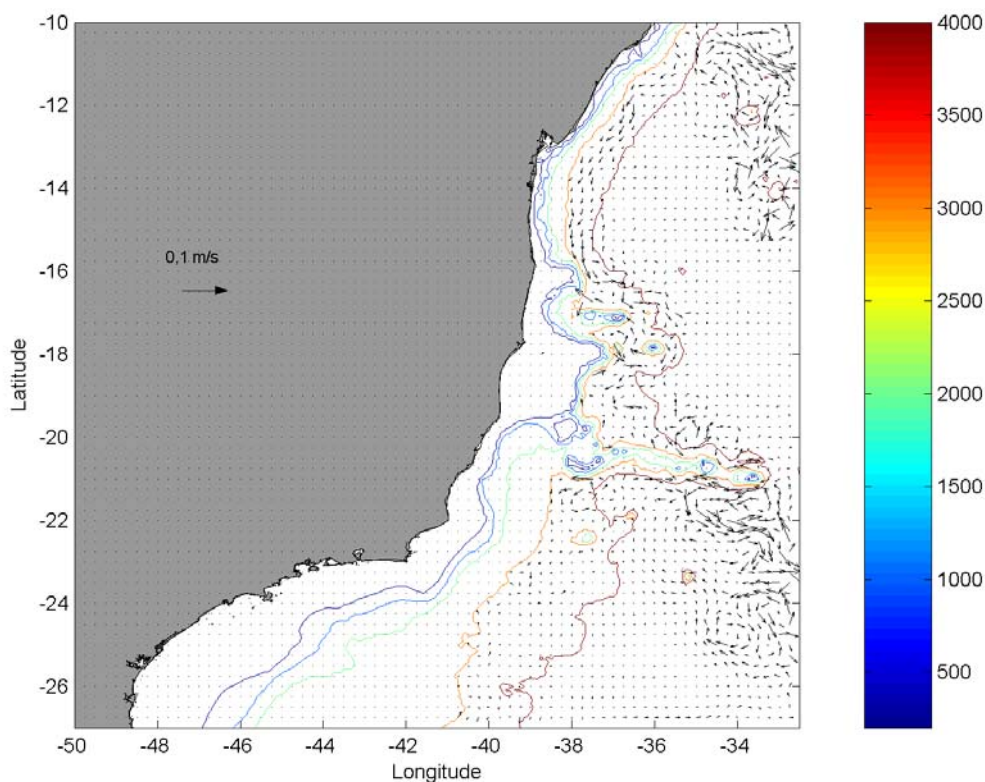


Figura 41: Correntes (m/s) a 3000m obtidas pelo modelo numérico. A escala de cores de refere-se à batimetria em metros.

VI. CONCLUSÕES

O modelo numérico hidrodinâmico de coordenadas sigma, POM (Princeton Ocean Model) foi implementado à região adjacente ao Bloco BM-C-39.

Após devidamente calibrado, o modelo foi executado para fornecer os campos de temperatura, salinidade e corrente. Os resultados das comparações entre os dados simulados pelo POM e os observados, tanto para a estrutura termohalina, quanto para a corrente em superfície e em profundidade foram considerados satisfatórios na representação da dinâmica oceânica da região, pois conseguiu reproduzir fenômenos em escala climática (Corrente do Brasil e fluxo da AIA, por exemplo) e de menor escala temporal (vórtices e meandros).

Sendo assim, estes dados foram considerados aptos a serem utilizados para as simulações de transporte de material no oceano realizadas para o Bloco BM-C-39.

VII. BIBLIOGRAFIA

Brandsma, M., & Smith, J., 1999. Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model Report and User Guide. *ExxonMobil Upstream Research Co.*

Beck, B., 2002 - "Model evaluation and performance." In: Encyclopedia of Environmetrics Volume 3, pp 1275–1279 - Edited by Abdel H. El-Shaarawi and Walter W. Piegorsch John Wiley & Sons, Ltd, Chichester

Blumberg, A. F. and G. L. Mellor, A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model, In Three-Dimensional Coastal Ocean Models, N. S. Heaps (Ed.), 1-16, American Geophysical Union, Washington, DC, 1987.

Boebel, O., C. Schmid, G. Podesta and W. Zenk, 1999: "Intermediate water in the Brazil-Malvinas Confluence Zone: A Lagrangian view". *Journal of Geophysical Research*, 104 (C9), pp. 21,063-21,082.

Calado, L. 2000, Dinâmica da Formação dos Meandros e Vórtices da Corrente do Brasil ao Largo do Sudeste Brasileiro, Dissertação de Mestrado – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.

Castro, B.M.; Miranda, L.B., 1998: "Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf located between 4°N and 34°S." In: Robinson, A.R.; Brink, K.H. (eds.): *The Sea*, Vol. 11: pp. 209-252, New York, John Wiley & Sons.

Castro Filho, Belmiro Mendes de; Miranda, Luiz Bruner de; Calado, Leandro; Nonnato, Luiz Vianna; Mattos, Rafael Augusto: *Condições oceanográficas de verão e inverno ao largo de Cabo Frio durante o projeto DEPROAS - Simpósio Brasileiro de Oceanografia*, 1 : 2002 : São Paulo.

DHN, 1969: "II Comissão Oceanográfica: NE "Almirante Saldanha" de 15/02 a 28/02/1957." Rel. DHN-DG 20(II), p.1-11.

Evans D.L. , S. S. Signorini & L.B. Miranda, 1983: A note on the transport of the Brazil Current. *Journal Of Physical Oceanography*, 9, 724-738.

Ezer,T. and G. L. Mellor, 1997. Simulations of the Atlantic Ocean with a free surface sigma coordinate ocean model. *J. Geophys. Res.*, 102(C7), 15,647-15,657.

Ezer, T., 2001. On the response of the Atlantic Ocean to climatic changes in high latitudes: Sensitivity studies with a sigma coordinate ocean model, In: *The Oceans and Rapid Climate Change: Past, Present and Future*, D. Seidov, B. J. Haupt and M. Maslin (Eds.). American Geophysical Union, 199-215.

Ezer, T. and G. L. Mellor: 1994 "Diagnostic and prognostic calculations of the North Atlantic circulation and sea level using a sigma coordinate ocean model" *J. Geophys. Res.*, 99(C7), pp. 14,159-14,171.

Ezer, T., and G. L. Mellor, 2004. A generalized coordinate ocean model and a comparison of the bottom boundary layer dynamics in terrain-following and in z-level grids. *Ocean Modelling*, 6(3-4), 379-403.

Ezer, T., H. Arango and A. F. Shchepetkin: 2002. "Developments in terrain-following ocean models: intercomparisons of numerical aspects", *Ocean Modelling*, 4, pp. 249-267

Gan, J., L. A. Mysak and D. N. Strub, 1998. Simulation of the South Atlantic Ocean circulation and its seasonal variability. *J. Geophys. Res.*, 103(C5), 10,241-10,251

Garfield, N. III - The Brazil Current at Subtropical Latitudes. Ph.D Disertation. University of Rhode Island,1990, 122 pp.

Gordon, A.L. and C.L. Greengrove, 1986: "Geostrophic circulation of the Brazil-Falkland Confluence." *Deep Sea Research*, 33, pp. 573-585.

Le Blond, PH and Mysak, LA, 1978 : *Waves in the Ocean*. 1a Edição. Elsevier Scientific Publishing, Amesterdã.

Le Provost, C., M.L. Genco, F. Lyard, P. Vincent & P. Canceil, 1994. Spectroscopy of the world ocean tides from a finit element hydrodynamic model. *Journal of Geophysical Research*,99(C12): 24.777-24.797.

Lima J. A. M., 1997: Oceanic circulation on the Brazilian shelf break and continental slope at 22°S. Tese De Doutorado. University Of New South Wales. Australia.

Mascarenhas Jr, A S 1985 - "Revisão sobre o cálculo da tensão de cisalhamento do vento sobre o oceano." In: Relatório Interno do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, n.14, pp.1-10

Mellor, G. L., and T. Yamada, Development of a tubulence closure model for geophysical fluid problems, *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 20, 851-875, 1982.

Mascarenhas Jr., A. DS., Miranda, L. B., y Rock, N. J., 1971, "A study of the oceanographic conditions in the region of Cabo Frio." *Fertility in the Sea*, Gordon & Breach, vol. 1, pp. 285-308.

Mellor, G. L., 2004. "User's Guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model". *Atmos. And Oceanic Sci. Program*, Priceton University, Princeton, N. J., USA.

Munk, W., 2000 – "Achievements in Physical Oceanography" In: 50 Years of Ocean Discovery: National Science Foundation 1950-2000 Ocean Studies Board, National Research Council, 276 pp.

Peterson, R.G. and L. Stramma, 1990: "Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean." *Progress in Oceanography*, 26, pp. 1-73.

Peterson, R.G., L. Stramma, and G. Kortum, 1996: "Early concepts in charts and circulation." *Progress in Oceanography*, 37, pp. 1-115.

Schmid, C., H. Schäfer, G. Podestá & W. Zenk, 1995. "The Vitória Eddy and Its Relation to the Brazil Current." *Journal of Physical Oceanography*, 25: pp. 2532-2546.

Signorini, S.R., 1978: On the circulation and volume transport of the Brazil Current between Cape of Sao Tome and Guanabara Bay, *Deep-Sea Research*, 25, 481-490 p.

Silveira, I. C.A. da; A. K. Schmidt; E.J.D. Campos; S. S. de Godoi; Y. Ikeda, 2001. "A Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira." *Rev. Bras. Oceanogr.*, 48(2), pp. 171-183.

Speer, K.G., J. Holfort, T. Reynard and G. Siedler, 1996: "South Atlantic heat transport at 11°S." In: The South Atlantic: Present and Past Circulation [Wefer, G., W. H. Berger, G. Siedler and D. J. Webb (eds.)]. Springer, pp. 105-120.

Stevens, I. & Johnson J. 1997 – "Sensitivity to open boundary forcing in a fine resolution model of the Iberian shelf-slope region," *Annales Geophysicae* 15, pp. 113-123.

Stommel, H. 1965. The Gulf Stream-a physical and dynamical description. Univ. Calif. Press, Berkeley, and Cambridge Univ. Press, Lond., 248 p.

Stramma, L., Y. Ikeda, R.G. Peterson, 1990: "Geostrophic transport in the Brazil Current region north of 20°S." *Deep-Sea Research*, 37 (12), pp. 1875-1886.

Stramma L., 1991: Geostrophic Transport of the South Equatorial Current in the Atlantic. *Journal of Marine Research*, 49. 281 - 294p



RELATÓRIO TÉCNICO [REV. 00]

MODELAGEM HIDRODINÂMICA
Bloco BM-C-41

Preparado para:
HABTEC

Preparado por:
Maurício da Rocha Fragoso
Leandro Calil

30 de julho de 2008

PROOCEANO

AV. RIO BRANCO, 311 / 1224 CENTRO
CEP 20.0040-009 RIO DE JANEIRO RJ
TEL | FAX +55 21 2532-5666
WWW.PROOCEANO.COM.BR

RELATÓRIO TÉCNICO [REV.00]

MODELAGEM HIDRODINÂMICA
Bloco BM-C-41

Preparado para:
HABTEC

Preparado por:
Maurício da Rocha Fragoso
Leandro Calil

30 de julho de 2008

ÍNDICE:

I. INTRODUÇÃO.....	4
I.1. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS	4
<i>I.1.1. Circulação Superficial.....</i>	<i>4</i>
<i>I.1.2. Circulação Intermediária</i>	<i>4</i>
<i>I.1.3. Circulação Profunda</i>	<i>4</i>
<i>I.1.4. Vórtices e Meandros</i>	<i>4</i>
II. MODELO NUMÉRICO UTILIZADO	4
III. DOMÍNIO DO MODELO	4
IV. Condições de Contorno	4
IV.1. Condição de Contorno de Fundo	4
IV.2. Condição de Contorno de Superfície	4
IV.3. Condição de Contorno Lateral	4
<i>IV.3.1. Elevação do Nível do Mar</i>	<i>4</i>
<i>IV.3.2. Correntes</i>	<i>4</i>
<i>IV.3.3. Temperatura</i>	<i>4</i>
V. RESULTADOS.....	4
V.1. Avaliação do Modelo	4
<i>V.1.1. Transporte de Volume</i>	<i>4</i>
<i>V.1.2. Estrutura Termohalina</i>	<i>4</i>
<i>V.1.3. Campos de Corrente</i>	<i>4</i>
VI. CONCLUSÕES.....	4
VII. BIBLIOGRAFIA.....	4

I. INTRODUÇÃO

Para simular o transporte de qualquer material no oceano é necessário conhecer o comportamento das correntes marinhas da região em questão. Para tal, pode-se recorrer à técnica conhecida como fluidodinâmica computacional, que consiste em reproduzir o comportamento de fluidos em resposta às forças atuantes no meio, através da solução numérica das equações que governam os processos envolvidos. Com isso, podem ser obtidos resultados sinóticos e sob diferentes condições de contorno e iniciais, como por exemplo, condições de verão e inverno, de maré de sizígia e quadratura etc.

A capacidade de simular diferentes condições, aliada à obtenção de resultados sinóticos em quatro dimensões (as três do espaço e o tempo), faz da fluidodinâmica computacional uma opção interessante, e em determinados casos, como em regiões com pouca ou nenhuma medição, a única para obter os resultados necessários à modelagem de transporte de materiais no oceano. É imprescindível, no entanto, a realização de comparações dos resultados obtidos pelo modelo hidrodinâmico com dados observados na região, para se ter uma medida da representatividade do modelo em relação ao observado.

Esse relatório apresenta a descrição da simulação hidrodinâmica e seus resultados, utilizados nas modelagens de transporte de óleo para o Bloco BM-C-41.

I.1. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS

A circulação oceânica da região do Bloco BM-C-41 está sob a influência do giro subtropical do Atlântico Sul, que faz parte da circulação de grande escala que ocorre nas bacias dos oceanos mundiais (Peterson & Stramma, 1991). Trata-se de uma circulação complexa, que apresenta variações ao longo da coluna d'água e para um mesmo nível de profundidade pode apresentar intensidades e sentidos diferentes, dependendo da posição geográfica. Na

Figura 1 pode ser observada a localização do Bloco BM-C-41.

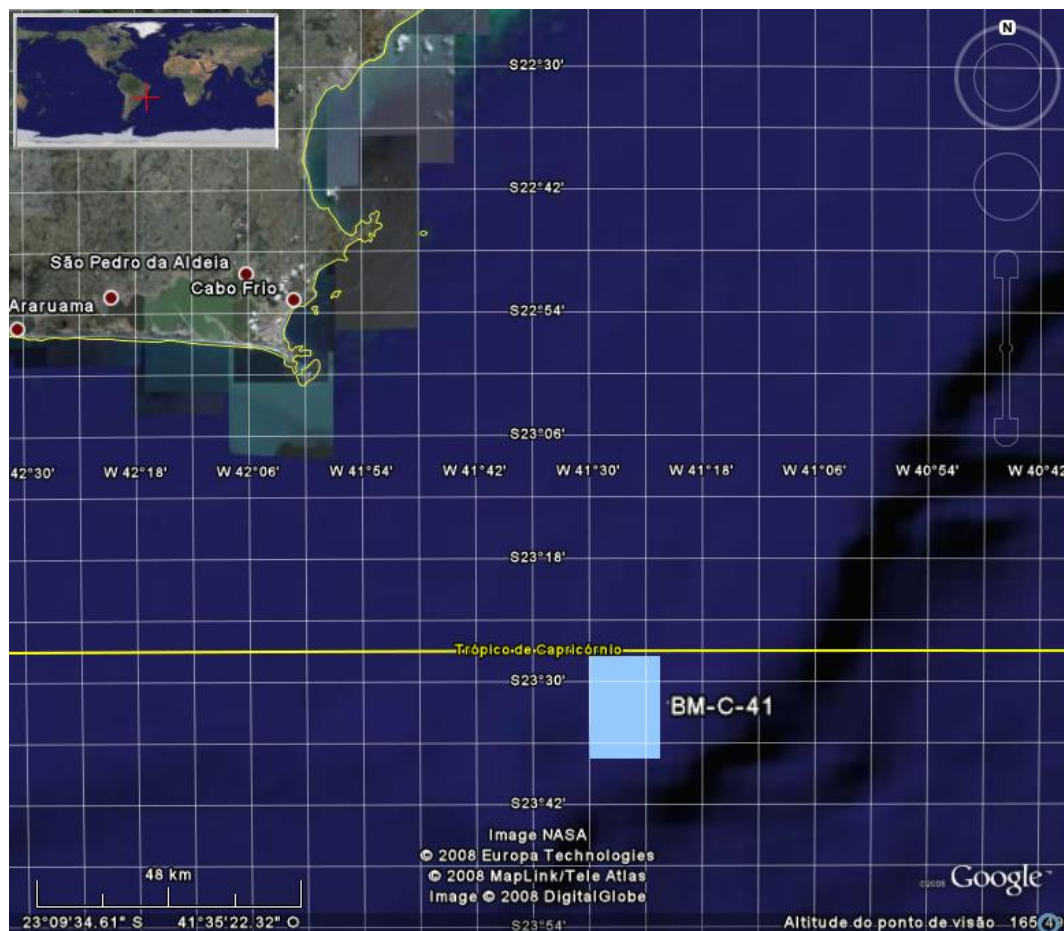


Figura 1: Localização do Bloco BM-C-41.

A circulação oceânica da região pode ser dividida em superficial, intermediária e profunda. Existem poucas medições diretas das correntes e as estimativas sobre a circulação são, em sua maioria, realizadas a partir de dados hidrográficos, o que em primeiro lugar já filtra as variações temporais e pode ainda gerar imprecisões. Mesmo os esforços empreendidos pelos pesquisadores ao longo de todos esses anos não são suficientes para se obter um conhecimento mais aprofundado sobre a circulação dessa região e alguma controvérsia ainda existe, principalmente em relação às circulações intermediária e profunda.

1.1.1. Circulação Superficial

A circulação superficial da Baía de Campos é dominada pela Corrente do Brasil (CB). Apesar de ser creditado a Isaaci Vossius o primeiro reconhecimento e descrição da Corrente do Brasil em 1663 no seu "Tratado Sobre o Movimento dos Mares e Ventos", foi James Rennell em 1832 quem detalhou e até mesmo nomeou a Corrente do Brasil. Além disso, foi

o primeiro a determinar que a CB era mais fraca do que a Corrente Norte do Brasil (Peterson et al., 1996).

A CB faz parte do giro subtropical do Atlântico Sul (Peterson & Stramma, 1991) e é formada a partir da bifurcação da Corrente Sul Equatorial, que ocorre entre as latitudes de 5 a 10o S (Figura 2). Trata-se de uma Corrente de Contorno Oeste que desempenha o mesmo papel que a Corrente do Golfo, transportando águas quentes e salinas do Equador em direção aos pólos. Entretanto, ao contrário de sua similar do Atlântico Norte, foram realizadas muito poucas medições utilizando correntômetros (Lima, 1997). Outra diferença da CB em relação à Corrente do Golfo é sua menor intensidade. Uma explicação possível foi realizada por Stommel (1965, apud Calado, 2000), que aponta a oposição de sentido da componente termohalina em relação ao transporte gerado pelo vento, que se somam na Corrente do Golfo, como uma possível explicação para esse fato.

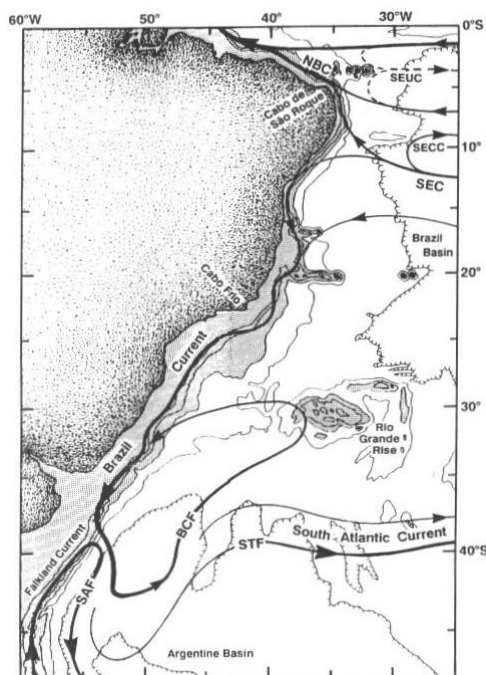


Figura 2: Esquema da circulação superficial do atlântico sudoeste. Fonte: Silveira et al., (2000).

A CB, desde sua origem até a Confluência Brasil-Malvinas, apresenta fluxo predominante para sul/sudoeste, ocupando a troposfera oceânica (primeiros 500 m de profundidade), fluindo sobre a quebra da Plataforma Continental. Garfield (1990, apud Lima, 1997), indica que a posição média da frente da CB é muito próxima à quebra da plataforma associando à isohalina de 36 para locais a leste de 45° W.

Próximo à latitude de 20,5° S, a CB se depara com a cordilheira submarina Vitória-Trindade e flui preferencialmente através da passagem mais próxima à costa, embora esse

fluxo seja pouco documentado (Castro & Miranda, 1998). Stramma et al. (1990 apud Castro & Miranda, 1998) mostram que entre 16 e 19° S a parte mais a oeste da BC flui para sul longe da costa, ao largo da isóbata de 3000 m. Próximo à cadeia, a velocidade da corrente é de 0,5 a 0,6 m/s com transportes entre 3,8 a 6,8 Sv (Evans et al., 1983). Valores maiores, 9,4 Sv, foram encontrados por Schmid et al. (1995).

A partir desta latitude, a corrente adquire caráter meandrante e se intensifica (Silveira et al., 2000). Lima (1997), utilizando medidas obtidas por correntômetros ao longo de uma ano na região do Cabo de São Tomé (22o S), estimou a transporte de volume como possuindo valor médio de $5,5 \pm 2,6$ Sv e moda de 6,5 Sv, concordando com as estimativas de Peterson & Stramma, (1991). A velocidade em superfície ao largo de Cabo Frio é em torno de 0,5 m/s e o transporte é da ordem de 9 Sv (Signorini, 1978), sendo que mais da metade do fluxo é confinado aos primeiros 200 metros de coluna d'água (Silveira et al., 2000). Ao sul de Cabo Frio, a CB se intensifica a uma taxa de 5% a cada 100km (Gordon & Greeengrove, apud Castro & Miranda, 1998).

1.1.2. Circulação Intermediária

A circulação intermediária, entre as profundidades de 400 e 1500m está associada ao fluxo da Água Intermediária Antártica (AIA). O padrão de circulação da AIA (Figura 3) ainda gera alguma polêmica entre os pesquisadores, porém a teoria mais aceita parece ser a de que a AIA seria formada na Convergência Antártica fluindo para níveis intermediários indo em direção ao norte até a região da confluência Brasil-Malvinas (~38°S), onde seguiria em direção ao leste como parte de uma recirculação mais profunda associada ao Giro Subtropical. Esta fluiria então anticiclonicamente e ao sul da latitude de 25° S, atingiria novamente a costa do Brasil, bifurcando-se e seguindo parte em direção ao Equador e parte fluindo para sul ao longo da costa, com o eixo da divergência paralelo ao talude entre as latitudes de 27° S e 28° S (Silveira et al., 2000).

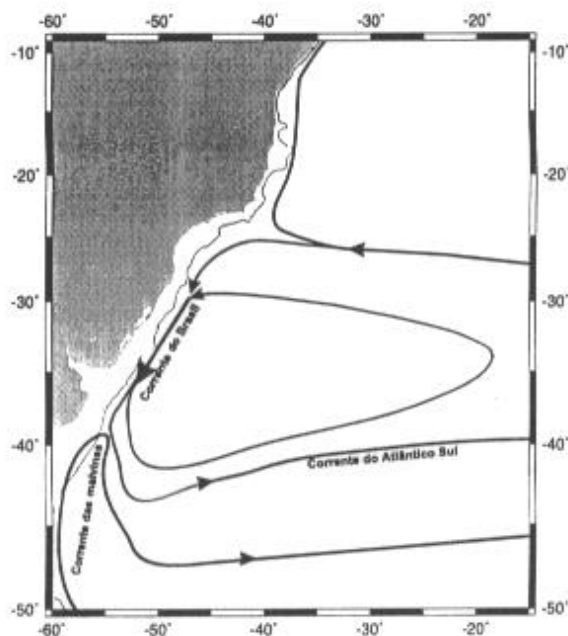


Figura 3: Esquema da circulação intermediária no atlântico sudoeste. Fonte: Silveira et al., (2000).

A parte da AIA que flui para norte foi medida por Evans & Signorini (1985) entre 23 e 20,5° S e na latitude de 11° S (Speer et al., 1996 apud Lima, 1997). Tal fluxo foi denominado por Boebel et al., (1999, apud Silveira et al., 2000) de Corrente de Contorno Oeste Intermediária. Lima (1997) também indica a existência desse fluxo permanente utilizando dados medidos por correntômetros no período de um ano na Bacia de Campos. Esse autor o denominou de Contra-Corrente do Brasil Intermediária, atribuindo a ele um transporte de 5.1 ± 2.8 Sv e uma extensão vertical de 1100 m, estando presente entre as profundidades de 400 e 1500m.

1.1.3. Circulação Profunda

Abaixo da AIA encontra-se a APAN (Figura 4), que ocupa níveis entre 1500 e 3000m e é formada no Atlântico Norte no mar da Groenlândia. É consenso na literatura que a APAN se apresenta como um fluxo organizado fluindo para o sul ao longo do contorno oeste até cerca de 32° S, onde ao menos uma parte da corrente retorna em direção ao equador (Silveira et al., 2000).

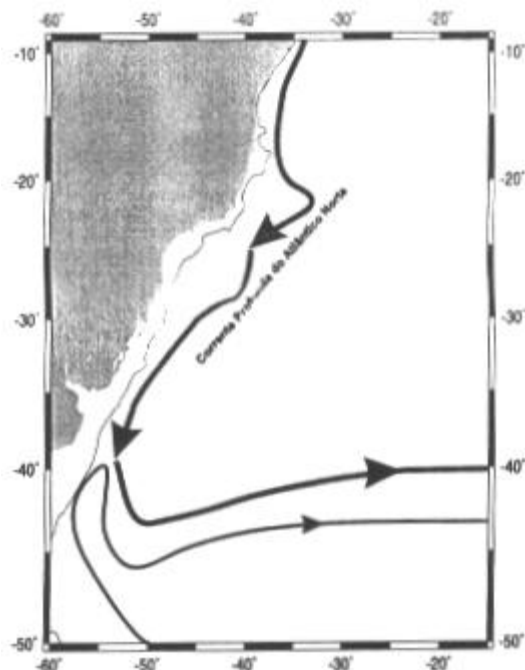


Figura 4: Esquema da Circulação Profunda no Atlântico Sudoeste. Fonte: Silveira et al. (2000).

1.1.4. Vórtices e Meandros

Os fenômenos transientes da Corrente do Brasil são fatores bastante relevantes de sua dinâmica, sendo primeiro observados no final da década de 1950 (DHN, 1969). Apesar da Corrente do Brasil apresentar transporte inferior ao de outras correntes de contorno oeste, possui muitos vórtices e meandros (Calado, 2000). Essas feições oceanográficas representam um desafio à previsão oceânica, uma vez que sua variabilidade espaço-temporal irá acrescentar um alto grau de variabilidade na circulação local, o que contribui para uma menor precisão das previsões de curto e médio período.

Segundo Silveira et al. (2000), uma das primeiras descrições de meandros e vórtices da CB foi realizada por Mascarenhas e colaboradores (1971), que descreveram a presença de vórtices e meandros ciclônicos e anticiclônicos ao largo de Cabo Frio utilizando mapas de topografia dinâmica. Eles especulam que as feições topográficas da região favoreceriam a geração destes vórtices e meandros. Signorini (1978) apud Silveira et al. (2000) observou um vórtice com cerca de 100 km de raio em região de águas profundas (>1000m) com extensão vertical de 500 m ao norte de Cabo Frio, realizando análise dinâmica em dados hidrográficos. Campos (1995 apud Silveira et al., 2000) atribui a ocorrência destes fenômenos transientes à mudança de orientação da costa a partir de Cabo Frio e ao gradiente de batimetria, já que a plataforma ao norte de Cabo Frio é estreita e se torna mais larga e suave na Bacia de Santos. Assim, a CB que flui ao longo da quebra da plataforma, por inércia, dirigir-se-ia em direção às águas mais profundas na latitude de Cabo Frio. Utilizando o princípio de conservação de vorticidade potencial, o autor mostra que a CB iria meandrar ciclonicamente. Evidências de meandros e vórtices ciclônicos e

anticiclônicos foram também detectados em imagens de satélite, sugerindo que o início da atividade ciclogênica pode ocorrer ao largo do Cabo de São Tomé (22°S).

II. MODELO NUMÉRICO UTILIZADO

Para as simulações hidrodinâmicas da região do Bloco BM-C-41 foi utilizado o modelo conhecido como Princeton Ocean Model - POM (Blumberg & Mellor, 1987). O POM é um modelo numérico hidrodinâmico não-linear, de equações primitivas, com superfície livre, tridimensional, de diferenças finitas, projetado para simular correntes costeiras e oceânicas. O tratamento dos efeitos turbulentos é realizado com o modelo de fechamento turbulento de segunda ordem, nível 2.5 de Mellor & Yamada (1982), o que permite uma representação mais realística da camadas de Ekman de superfície e de fundo (Blumberg & Mellor, 1987). Como este modelo foi projetado para incluir os efeitos decorrentes de profundidades irregulares, o sistema de coordenadas cartesianas é modificado com a introdução do conceito da coordenada generalizada sigma, no qual a coordenada vertical z , orientada no sentido contrário à aceleração da gravidade, é substituída pela coordenada sigma (σ), que tem como referência, ao mesmo tempo, o fundo e a superfície livre do mar. Os modelo de coordenada sigma, ou "seguidores-de-terreno" são especialmente adequados em regiões com topografia de fundo variável e nas quais os processos de interação com a camada-limite de fundo são importantes. A principal atração de tais modelos reside na representação suave da topografia e em sua habilidade em simular as interações entre o fluxo e a batimetria (Ezer et al., 2002). A transformação de z para sigma é realizada conforme indicado a seguir:

$$\sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta} \quad \text{II.1}$$

onde η é a elevação da superfície livre e H é a profundidade local. Assim, σ varia de 0, na superfície, a -1 , no fundo. Desta maneira, o modelo consegue representar bem os efeitos do relevo de fundo e do contorno de costa sobre a circulação (Figura 5), o que é importante quando se está modelando regiões onde ocorra variações topográficas significativas.

onde η é a elevação da superfície livre e H é a profundidade local. Assim, σ varia de 0, na superfície, a -1 , no fundo. Desta maneira, o modelo consegue representar bem os efeitos do relevo de fundo e do contorno de costa sobre a circulação (Figura 5), o que é importante quando se está modelando regiões onde ocorra variações topográficas significativas.

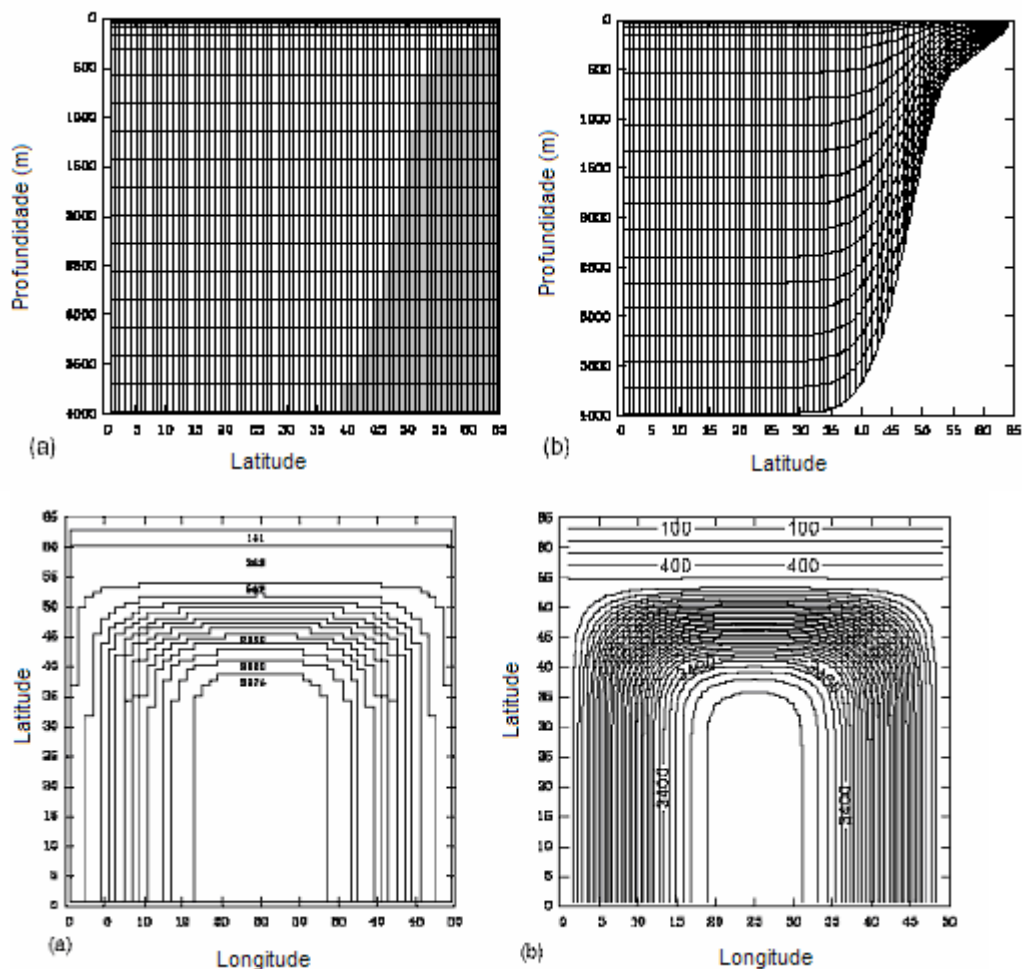


Figura 5: Representação da topografia de fundo em perfil (painel superior) e em planta (painel inferior) em grades com coordenada vertical cartesiana Z (a) e coordenada vertical sigma (b). Fonte: Ezer & Mellor, (2004).

O POM é portanto, um modelo adequado para simular as correntes em baías, estuários, regiões costeiras, Plataforma Continental e bacias oceânicas como pode ser visto nos artigos que tratam das simulações em regiões de oceano profundo (Ezer & Mellor, 1994; Gan *et al.*, 1998; Ezer, 2001).

O conjunto de equações governantes do POM é formado pelas equações primitivas do movimento, fazendo uso das aproximações de Boussinesq, plano β e hidrostática. Referenciando-se a um sistema de coordenadas cartesianas ortogonais com valores positivos de x no sentido leste e de y no sentido norte e realizando a transformação para coordenada sigma, tem-se o conjunto de equações básicas utilizadas pelo POM (Mellor, 2004).

Equação da continuidade:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad \text{II.2}$$

Equação da conservação da quantidade de movimento na direção zonal:

$$\frac{\partial UD}{\partial t} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x} + \frac{\partial UVD}{\partial y} + \frac{\partial U\omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma}^{\sigma'} \left[\frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] + F_x \quad \text{II.3}$$

Equação da conservação da quantidade de movimento na direção meridional:

$$\frac{\partial VD}{\partial t} + \frac{\partial UVD}{\partial x} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y} + \frac{\partial V\omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma}^{\sigma'} \left[\frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial y} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + F_y \quad \text{II.4}$$

Equação da conservação de calor:

$$\frac{\partial \theta D}{\partial t} + \frac{\partial \theta UD}{\partial x} + \frac{\partial \theta VD}{\partial y} + \frac{\partial \theta \omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma} \right] + F_{\theta} - \frac{\partial R}{\partial z} \quad \text{II.5}$$

Equação da conservação de sal:

$$\frac{\partial S D}{\partial t} + \frac{\partial SUD}{\partial x} + \frac{\partial SVD}{\partial y} + \frac{\partial S\omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right] + F_s \quad \text{II.6}$$

Equação de estado da água do mar:

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

Nestas equações $D = H + \eta$, U e V são os componentes zonal e meridional da velocidade, respectivamente, f é o parâmetro de Coriolis, g é a aceleração da gravidade, ρ é a densidade, ρ_0 é a densidade de referência, ρ' é a anomalia de densidade, θ é a temperatura potencial, S é a salinidade, KM é o coeficiente de viscosidade cinemática vertical, KH é o coeficiente de difusão de calor vertical, $\partial R / \partial z$ é o termo de fluxo de calor radiativo e ω é a velocidade vertical transformada, correspondente à componente de velocidade normal às superfícies sigma. Essa transformação se dá segundo:

$$W = \omega + U \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) + V \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) + \sigma \frac{\partial D}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial \sigma} \quad \text{II.8}$$

Os termos F_x , F_y , F_θ e F_S (atrito turbulento) são os chamados termos sub-grade, ou seja, com resolução menor do que a grade, sendo então necessárias parametrizações para resolvê-los (Calado, 2000), representadas nas equações **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** a **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**

$$F_x = \frac{\partial}{\partial x} \left(2A_M \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \quad \text{II.9}$$

$$F_y = \frac{\partial}{\partial x} \left[A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left(2A_M \frac{\partial V}{\partial y} \right) \quad \text{II.10}$$

$$F_{S,\theta} = \frac{\partial}{\partial x} \left[A_H \frac{\partial(S,\theta)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_H \frac{\partial(S,\theta)}{\partial y} \right] \quad \text{II.11}$$

O termo AM é resolvido utilizando a solução de Smagorinsky:

$$A_M = C \Delta x \Delta y \left[\left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad \text{II.12}$$

Onde C é a constante de Smagorinsky e A_H é o coeficiente de difusão de calor horizontal.

Esse conjunto de equações é resolvido utilizando-se uma diferenciação centrada no tempo e no espaço, também conhecida como Leap-frog, que é capaz de resolver apropriadamente os processos altamente dependentes do tempo e não-lineares (Blumberg & Mellor, 1987). O POM faz uso da técnica de separação de modos (mode splitting), na qual as equações do movimento são separadas em modo externo (ou barotrópico) e modo interno (ou baroclínico), permitindo que sejam utilizados intervalos de tempo (t) diferentes na integração do modelo. O intervalo de tempo para o modo interno pode ser bem maior do que a do modo externo, já que a velocidade da onda interna é bem menor do que a externa.

Assim, essa técnica propicia uma economia significativa de tempo de processamento ao mesmo tempo que não compromete a estabilidade do modelo, satisfazendo a condição de Courant-Friedrichs-Levy (CFL).

O sistema de coordenadas horizontal utiliza coordenadas ortogonais curvilíneas, que permite resolução variável de grade e o esquema de diferenciação aplicado é o conhecido como grade C de Arakawa. A linguagem de programação utilizada na versão oficial do modelo é Fortran77.

O grupo de usuários registrados do POM é constituído por mais de dois mil pesquisadores de dezenas de países, que já publicaram quase 700 artigos com aplicações do modelo para estudos da circulação em estuários, regiões costeiras, e oceano aberto, enfocando fenômenos de pequena escala até grande escala e com escalas temporais da ordem de horas até escalas sazonais.

III. DOMÍNIO DO MODELO

O domínio do modelo (Figura 6) compreende a região entre as latitudes de 10° e 27° S e entre as longitudes de $32,5^\circ$ e 50° W. Possui extensão de cerca de 1890 km por 1945 km, comparável ao Raio de Deformação de Rossby externo (da ordem de 1000 km para a região). Foi escolhido de maneira a poder representar a maior parte da energia e da dinâmica da CB e também para que os contornos abertos da grade pudessem ficar longe o suficiente da área de maior interesse. A distância entre qualquer das três fronteiras abertas (sul, leste e norte) e o Bloco BM-C-41 é sempre maior do que 200 km.

A resolução espacial escolhida para o POM foi de 5 minutos de arco (aproximadamente 9 km). Essa resolução é refinada o suficiente para capturar os fenômenos oceanográficos de mesoescala, responsáveis por mais de 99% da energia cinética dos oceanos (Munk, 2002). O Raio de Deformação de Rossby Interno (R_i) na região foi calculado para comparar a escala dos fenômenos baroclínicos de mesoescala com a

resolução horizontal do modelo. O cálculo do R_i pode ser realizado através da seguinte formulação (Le Blond & Mysak, 1978):

$$R_i = \frac{\sqrt{g' / h_e}}{f} \quad \text{III.1}$$

onde f é o parâmetro de Coriolis, g' é a gravidade reduzida dada por:

$$g' = g \left(\frac{\Delta \rho}{\rho_2} \right) \quad \text{III.2}$$

onde $\Delta \rho$ é a variação de densidade ($\rho_2 - \rho_1$) entre as camadas.

e h_e é a profundidade equivalente dada por:

$$h_e = \frac{(h_1 * h_2)}{(h_1 + h_2)} \quad \text{III.3}$$

onde h_1 é a espessura da primeira camada e h_2 da segunda.

Efetando o cálculo para valores típicos da região, onde considera-se a latitude de 23° S para f , a espessura de 400 m para h_1 (camada contendo o transporte a Corrente do Brasil (Lima, 1997)), 800 m para h_2 (camada contendo o transporte da AIA (Lima, 1997)) e os valores de densidade obtidos a partir da temperatura e salinidade dessas camadas, encontramos um R_i de cerca de 25 km. Assim, o espaçamento de grade horizontal do modelo é, aproximadamente, três vezes menor do que o Raio de Deformação de Rossby Interno da região. Quando a resolução horizontal de um modelo numérico é similar ao R_i , pode-se considerá-lo como eddy permitting, ou eddy resolving (Stevens & Johnson, 1997), ou seja, capaz de resolver os vórtices de mesoescala. Pode-se afirmar então que o modelo numérico em questão possui resolução horizontal adequada para receber as condições de contorno e iniciais impostas e capacidade de representar todos os fenômenos oceanográficos relevantes.

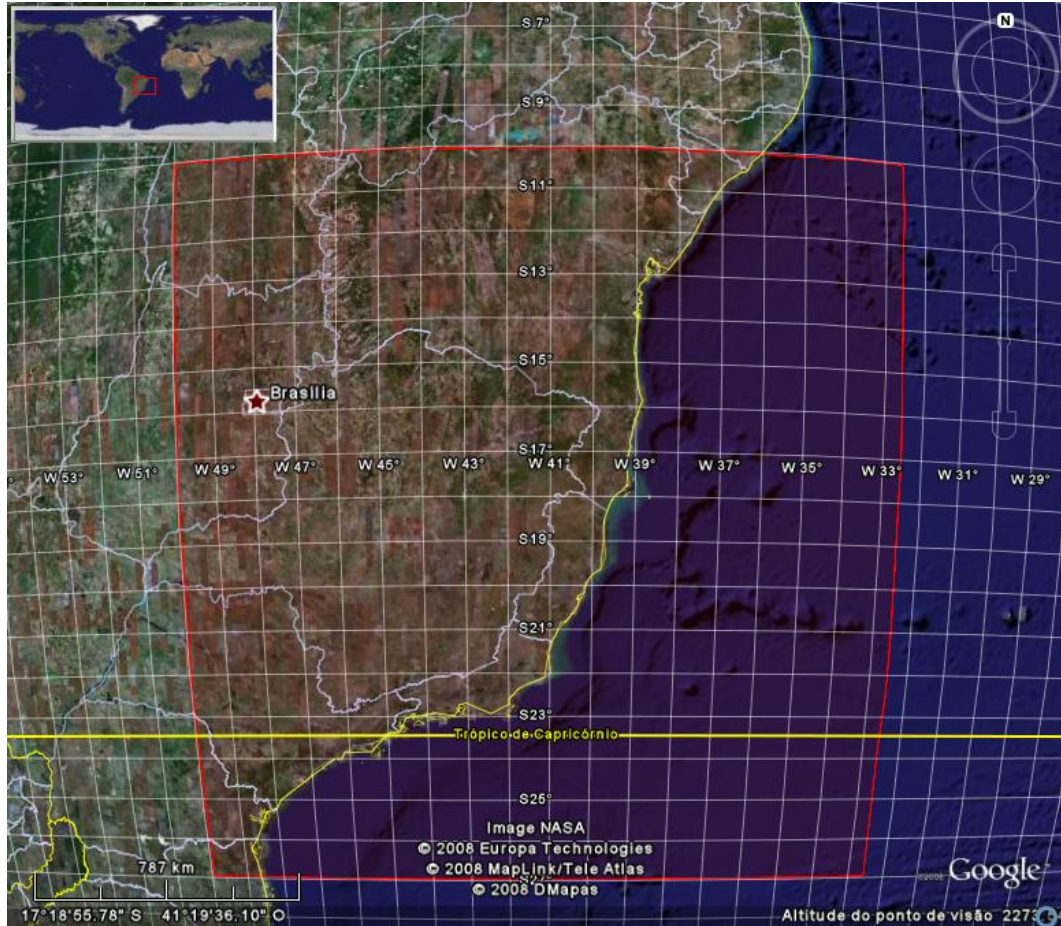


Figura 6: Domínio do modelo hidrodinâmico.

A situação ideal para se inicializar um modelo seria obter-se dados de temperatura e salinidade em cada ponto de grade (nas três dimensões), observados simultaneamente, o que é inviável. Desta forma, deve-se procurar uma alternativa, como a obtenção de informações de bancos de dados que contenham o máximo de observações simultâneas com a resolução mais próxima à grade do modelo em questão. Isso nos traz à escolha dos dados de condição inicial do modelo do BM-C-41. Existem alguns bancos de dados que contêm informações de temperatura e salinidade em todo o globo e muitos com informações sazonais ou mensais. Os dados disponíveis são resultantes da aplicação de técnicas de Análise Objetiva aos dados obtidos de variadas fontes como navios, bóias, satélites e fundeios. Com isso, obtêm-se matrizes de dados globais em várias profundidades e tempos. Dentre esses bancos de dados, podemos citar o Levitus do Centro Nacional de Dados Oceanográficos dos Estados Unidos (National Oceanographic Data Center - NODC) como exemplo. Os dados de temperatura e salinidade são disponibilizados sem custo ao público através da Internet em matrizes cuja mínima resolução espacial é de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ (cerca de 110×110 km).

Para o caso do BM-C-41, optou-se pela utilização dos dados gerados pelo modelo de circulação oceânica global MOM (Modular Ocean Model), desenvolvido pelo Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL / NOAA), da Universidade de Princeton para representar o estado inicial. O MOM é um modelo formulado matematicamente pelas equações primitivas completas, escritas em coordenadas esféricas, que utilizam as aproximações hidrostática e de Boussinesq e que simula as correntes em todo o globo. Os dados do MOM mostraram-se como uma alternativa mais atraente, pois o modelo utiliza os campos Levitus para sua inicialização, realizando também assimilação de dados ao longo da rodada e, além disso, está em balanço com as correntes que servirão de condição de contorno para o POM.

Outro fator importante que levou à escolha dos dados do MOM é a grande base de dados disponível na rede (<http://data1.gfdl.noaa.gov/nomads/forms/assimilation.html>). Essa base possui 20 anos de resultados do MOM, com médias mensais de vários parâmetros (entre eles temperatura, salinidade e as componentes u e v da velocidade) para os anos de 1981 a 2000, com resolução zonal e meridional de 1° (aproximadamente 110 km), possuindo 40 níveis de profundidade (da superfície até 4400 m). Tais dados são os resultados do experimento denominado Ocean Data Assimilation Experiment, conduzido por várias instituições americanas, sendo um dos seus objetivos a geração de dados para inicialização de modelos numéricos. Os detalhes a respeito desse experimento podem ser encontrados na página da Internet (<http://www.gfdl.noaa.gov/~mh2/IRI-ARCS/>).

Para finalmente obter-se os dados de condição inicial do modelo foi realizada uma análise estatística a fim de verificar se as médias mensais dos 20 anos seriam satisfatórias para representar o campo inicial do POM. Para tal, foi calculada a média de cada mês entre 1980 e 1999 e os respectivos desvios-padrão. Exemplos desses campos para o mês de julho são mostrados da Figura 7 a Figura 10. Os valores de desvio-padrão são baixos comparados às médias (cerca de 2%), o que mostra que a média é nesse caso um bom estimador para o campo inicial.

Desta forma, a inicialização do modelo foi realizada com o campo médio dos períodos de janeiro a junho e julho a dezembro obtidos a partir dos resultados dos 20 anos de simulação do MOM interpolados para a resolução espacial (vertical e horizontal) do POM, o que é considerado um aninhamento de modelos. Nesse caso, se está aninhando o modelo regional para a região do BM-C-41 (POM) em um modelo global (MOM).

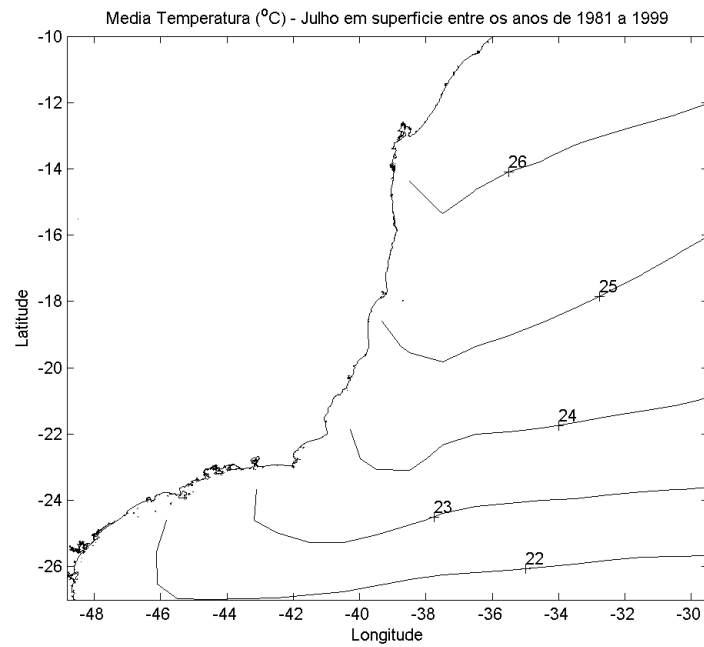


Figura 7: Temperatura média de julho em superfície entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

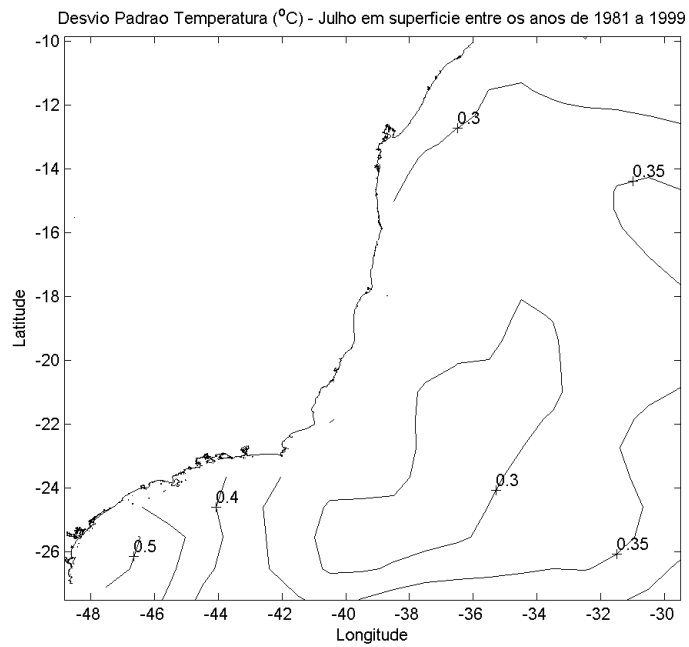


Figura 8: Desvio-padrão da temperatura de julho em superfície entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

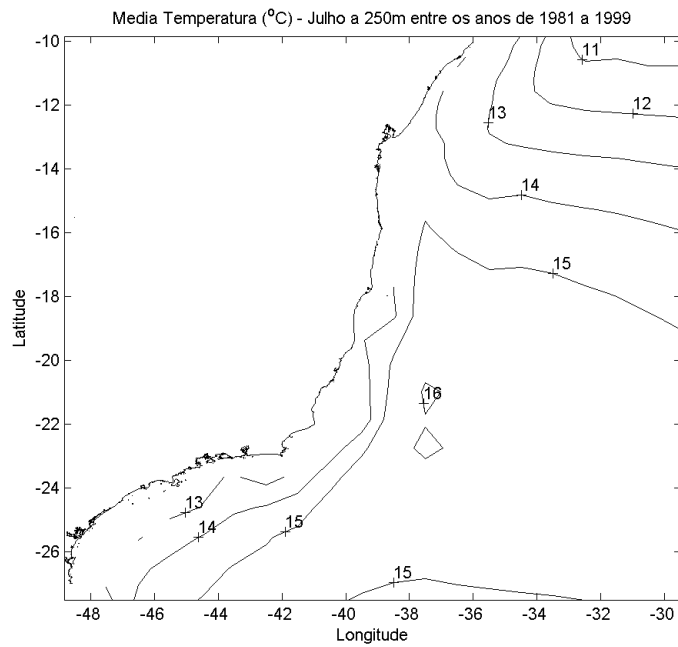


Figura 9: Temperatura média de julho a 250 m entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

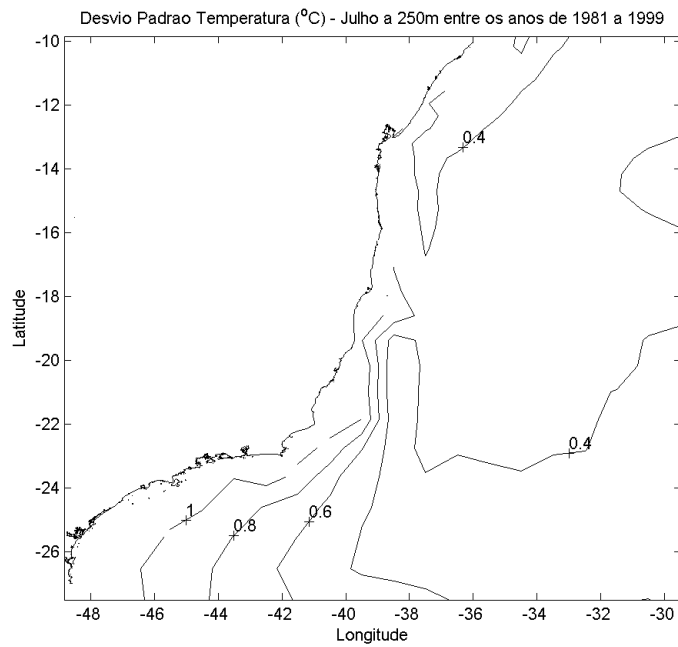


Figura 10: Desvio-padrão da temperatura de julho a 250 m entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

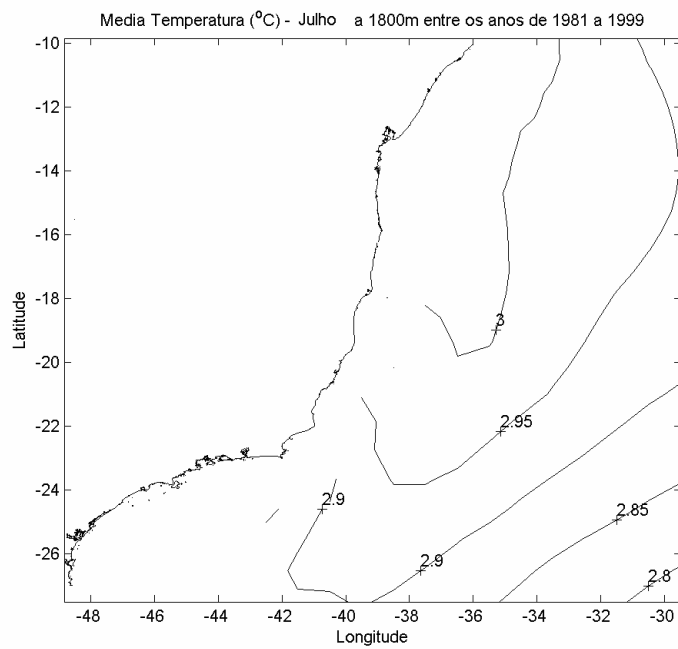


Figura 11: Temperatura média de julho a 1800 m entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

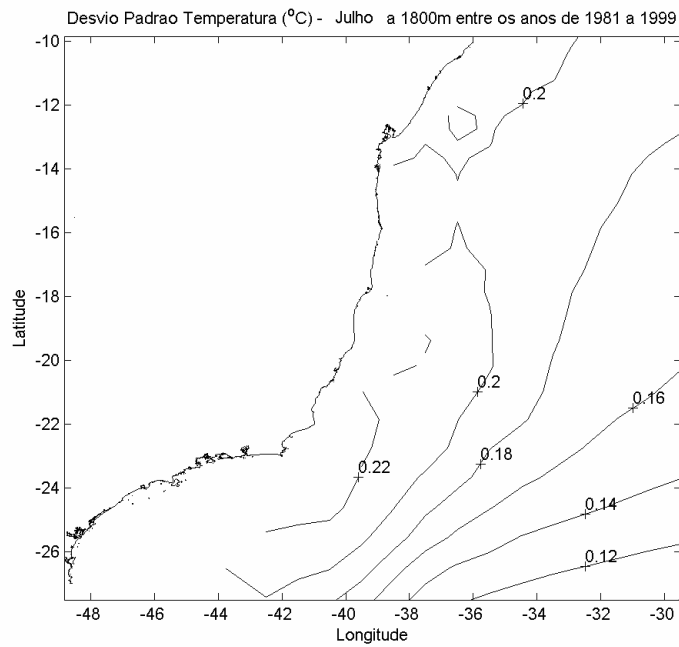


Figura 12: Desvio-padrão da temperatura de julho a 1800 m entre os anos de 1981 e 1999 obtida através dos dados do MOM.

A partir desses dados médios, realizou-se uma interpolação horizontal e vertical para a grade do POM. Na horizontal os dados foram interpolados para 5 minutos de resolução e na vertical, para os 15 níveis sigma da grade. Exemplos dos campos de temperatura e salinidade médios para o mês de julho, já com a resolução da grade do POM são apresentados da Figura 13 a Figura 15.

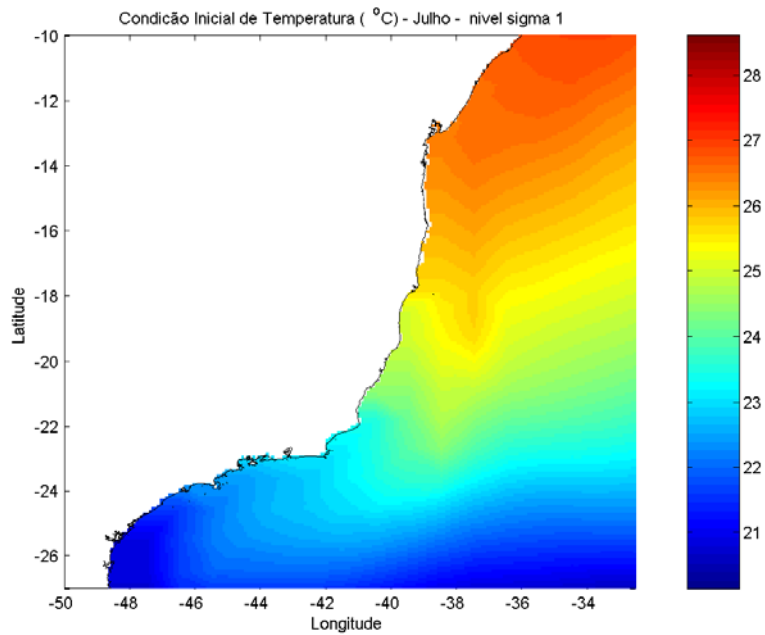


Figura 13: Campo de temperatura interpolada para a grade do POM. Média de julho na 1ª camada sigma.

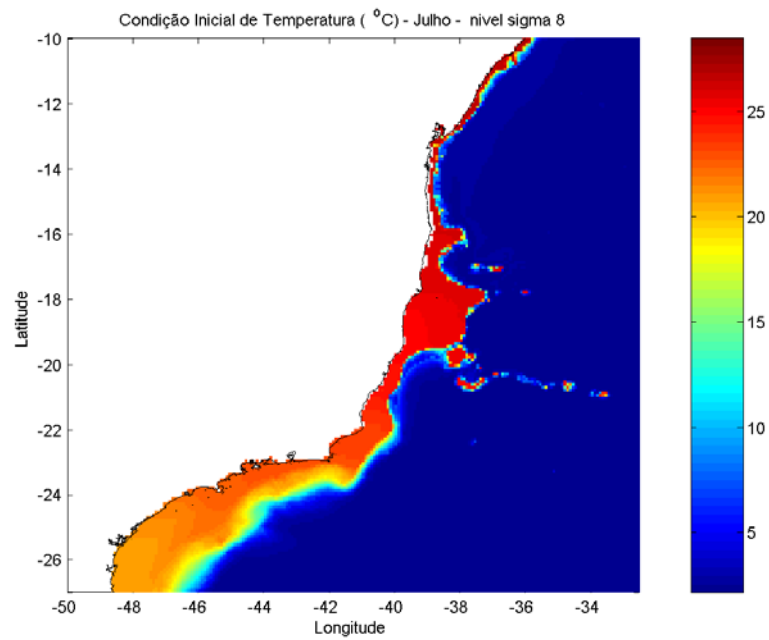


Figura 14: Campo de temperatura interpolada para a grade do POM. Média de julho na 8ª camada sigma.

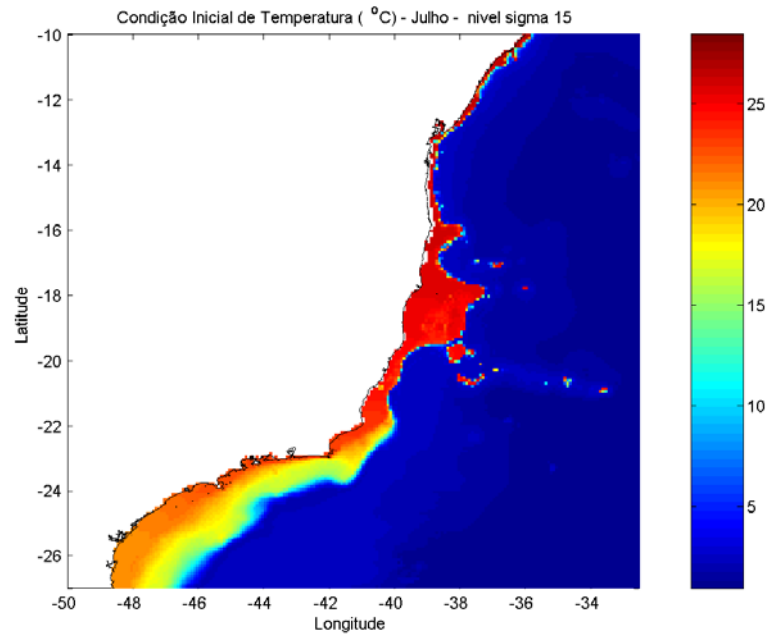


Figura 15: Campo de temperatura interpolada para a grade do POM. Média de julho na 15ª camada sigma.

IV. Condições de Contorno

Quando se utiliza um modelo de área limitada, como é o caso do POM, um dos fatores primordiais é uma escolha adequada das condições de contorno do modelo (Figura 16). Tal escolha deve ser realizada com bastante critério, uma vez que os resultados serão consequência das condições escolhidas.

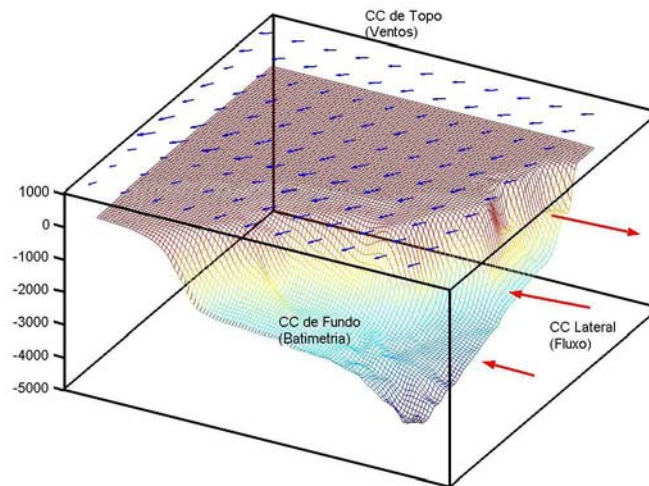


Figura 16: Representação esquemática das condições de contorno a serem definidas em um modelo de área limitada.

IV.1. Condição de Contorno de Fundo

Os dados de batimetria da região foram obtidos com base nos dados ETOPO2 (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/fliers/01mgg04.html>), que possui batimetria e topografia globais com resolução de 2 minutos de arco (cerca de 3,6 km). Esses dados foram então interpolados para a grade do modelo método de Kriging. Após tratamento com um filtro gaussiano bidimensional, obteve-se a matriz de topografia do fundo com 5 minutos de arco de resolução espacial utilizada no modelo hidrodinâmico (Figura 17).

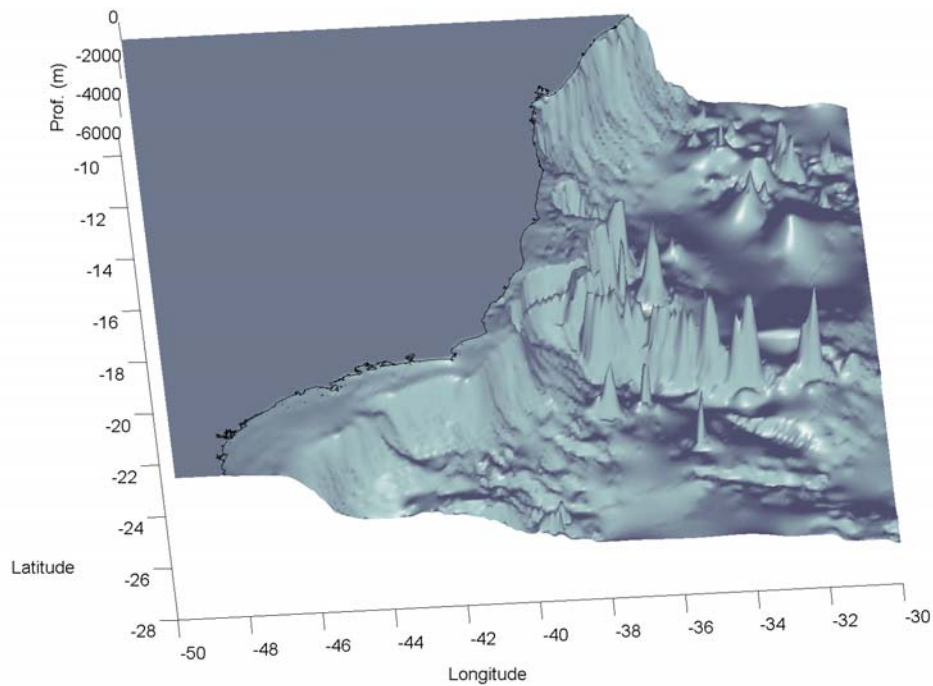


Figura 17: Batimetria da grade do modelo numérico.

IV.2. Condição de Contorno de Superfície

O modelo utiliza dados de tensão de cisalhamento do vento (τ) como condição de contorno de superfície. Esse valor é obtido através de dados de velocidade e direção do vento, utilizando a parametrização proposta por Mascarenhas (1985), que relaciona esses dois parâmetros através da equação a seguir:

Sendo $|V|$ o módulo da velocidade (m/s) do vento a 10 m tem-se, para:

$$0 < |V| < 6 \rightarrow \tau = 0,29 + \left(\frac{3,1}{|V|}\right) + \left(\frac{7,7}{|V|^2}\right)$$

IV.1

$$|V| > 6 \rightarrow \tau = 0,6 + (0,07 * |V|) \quad \text{IV.2}$$

Daí, são obtidos os componentes zonal (τ_x) e meridional (τ_y) da tensão de cisalhamento do vento:

$$\tau_x = -u * |V| * \tau * \frac{\rho_{ar}}{\rho_{água}} \quad \text{IV.3}$$

$$\tau_y = -v * |V| * \tau * \frac{\rho_{ar}}{\rho_{água}} \quad \text{IV.4}$$

Onde ρ_{ar} é a densidade média do ar e $\rho_{água}$ é a densidade de referência da água do mar no local.

Para contemplar o efeito do vento sobre a corrente, foram utilizados os dados de vento obtidos a partir da base de dados do NCEP (Reanálise). A Figura 18 e Figura 19. mostram exemplos de campos de vento utilizados na modelagem hidrodinâmica.

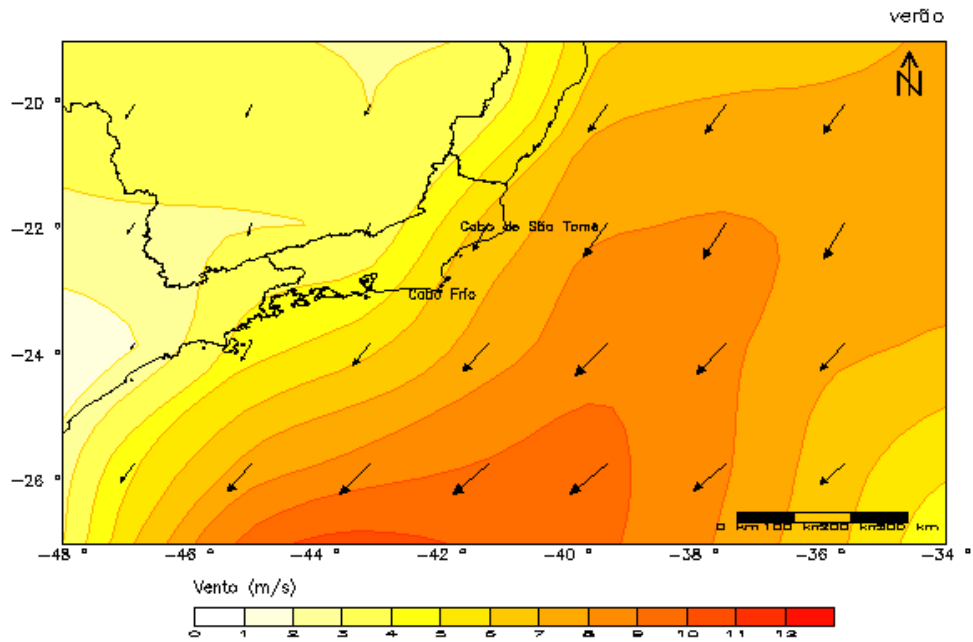


Figura 18: Exemplo do campo de vento (m/s) utilizado para a simulação do período de verão. As cores indicam a magnitude e as setas a direção dos ventos.

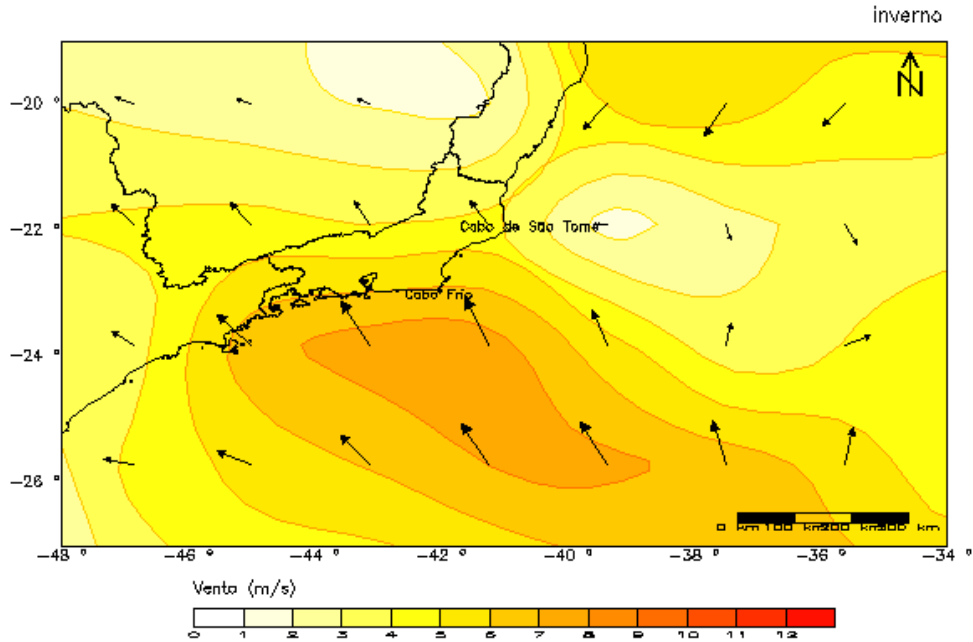


Figura 19: Exemplo do campo de vento (m/s) utilizado para a simulação do período de inverno. As cores indicam a magnitude e as setas a direção dos ventos.

Para representar o balanço de radiação na superfície do oceano, foi utilizado um modelo analítico proposto por Stull (1988). Esse modelo decompõe o termo de radiação líquida (Q^*) em quatro parcelas:

$$Q^* = K \uparrow + K \downarrow + I \uparrow + I \downarrow \quad \text{IV.5}$$

Onde:

- $K \uparrow$ representa a radiação de onda curta (solar) refletida (para cima),
- $K \downarrow$ é a radiação de onda curta transmitida através do ar (para baixo),
- $I \uparrow$ é radiação de onda longa (infravermelho) emitida para cima e
- $I \downarrow$ é a radiação difusiva de onda longa (para baixo)

Os fluxos do oceano para a atmosfera são positivos e os da atmosfera para o oceano são negativos, por definição.

Stull (1988) representa como:

Para o dia:

$$K \downarrow = S * T_K * \text{sen}(\Psi) \quad \text{IV.6}$$

Para a noite:

$$K \downarrow = 0 \quad \text{IV.7}$$

Onde:

S é a irradiância solar (ou constante solar), cujo valor adotado é $S = 1370 \text{ W.m}^{-2}$,

T_K representa a fração da radiação solar que efetivamente chega até a superfície (transmissividade líquida), dada por:

$$T_K = (0,6 + 0,2 * \text{sen}(\Psi)) * (1 - 0,4 * \sigma_{CH}) * (1 - 0,7 * \sigma_{CM}) * (1 - 0,4 * \sigma_{CL}) \quad \text{IV.8}$$

Onde:

σ_C representa a fração de cobertura de nuvens e o subscrito H, M e L, significam, respectivamente, nuvens altas, médias e baixas.

$\text{sen}(\Psi)$ é o ângulo de elevação local do Sol ,dado por:

$$\text{sen}(\Psi) = \text{sen}(\phi) \text{sen}(\delta_S) - \cos(\phi) \cos(\delta_S) \cos \left[\left(\frac{\pi t_{UTC}}{12} \right) - \lambda_e \right] \quad \text{IV.9}$$

onde ϕ é a latitude, λ_e é a longitude (ambos em radianos) e t_{UTC} é o tempo em horas no horário médio de Greenwich. δ_S é o ângulo de declinação solar dado por:

$$\delta_S = \phi_r \cos \left[\frac{2\pi(d - d_t)}{d_y} \right] \quad \text{IV.10}$$

Sendo, ϕ a latitude do Tópico de Câncer, d o número do dia do ano, dt o dia do solstício de verão e dy o número médio de dias no ano.

A radiação de onda curta refletida ($K \uparrow$) é dada por:

$$K \uparrow = -a * K \downarrow \quad \text{IV.11}$$

Onde a representa o albedo que é diretamente proporcional ao ângulo solar, variando entre 0,05 com sol a pino e 1 em ângulos de elevação pequenos.

A radiação de onda longa pode ser simplificada em um único termo (I^*), que é a soma de

$I \downarrow$ e $I \uparrow$:

$$I^* = 0,08 * (1 - 0,2\sigma_{CH} - 0,3\sigma_{CM} - 0,6\sigma_{CL}) \quad \text{IV.12}$$

juntando todas as parametrizações para as radiações de onda longa e curta, o modelo de balanço radiativo torna-se:

Durante o dia:

$$Q^* = (1 - a) * S * T_K * \text{sen}(\Psi) + I^* \quad \text{IV.13}$$

Durante a noite:

$$Q^* = +I^* \quad \text{IV.14}$$

Em virtude da dificuldade em se prever a dinâmica das nuvens, e portanto, a quantidade de nuvens baixas, médias e altas presentes, optou-se por tratar a o balanço de radiação sem a ação de atenuação das nuvens.

Em relação à salinidade em superfície ($wssurf$), a condição de contorno é dada por $wssurf(i,j) = vflux(i,j) * (satm - s(i,j,1))$, onde $vflux$ é a velocidade vertical, $satm$ é a pressão atmosférica e $s(i,j,1)$ é a salinidade na primeira camada sigma.

IV.3. Condição de Contorno Lateral

As condições de contorno abertas (CCA) em modelagem oceânica possuem impacto crucial na solução do interior do domínio. Isso é em boa parte devido ao fato de que as escalas de tempo associadas às propagações de ondas através da região oceânica são comparáveis com o comprimento da simulação em si, quando não são muito menores. Uma onda barotrópica, por exemplo, pode cruzar uma região com profundidade de 100m e largura de 100 km em cerca de 1 hora e uma onda interna com velocidade típica de 1 m/s, a cruza em cerca de 1 dia. Isso é muito menor do que a duração de uma previsão típica, que é de no mínimo 1 semana. Além disso, é fato conhecido que as CCAs levam a soluções matematicamente mal-postas (Oliger e Sundström, 1978) e que não existem soluções genéricas. Atualmente, os problemas de condições de contorno abertas podem ser consideradas como os aspectos mais desafiadores da modelagem numérica de oceano (Marsaleix et al., 2006).

As CCAs possuem basicamente dois objetivos. Primeiramente, estabelecer as condições de entrada no domínio para forçar a solução do interior com campos externos, obtidos de observações ou de modelos de maior escala. Ao mesmo tempo, estas devem funcionar como saída, permitindo que as ondas sejam irradiadas para fora ou que as massas d'água saiam do domínio sem que haja reflexões espúrias nas fronteiras. No entanto, é bastante difícil satisfazer a ambos os objetivos simultaneamente e os modelos tendem a escolher localmente qual deles irá utilizar, de acordo com o caráter de entrada ou saída da dinâmica ali presente. A direção da propagação da onda é frequentemente obtida através da inversão de uma equação de propagação de onda baseada nas variáveis modeladas nas vizinhanças da fronteiras abertas. O caráter de entrada ou saída da dinâmica local é então determinado pelo sinal da velocidade de fase da onda calculada na direção normal à fronteira (Orlanski, 1976).

A maioria das condições de contorno foram amplamente estudadas nos últimos 20 anos (Palma e Matano 1998, 2000). Esses estudos fornecem comparações ente diversas CCAs em casos bem determinados (propagação de ondas livres, jatos costeiros forçados por vento, propagação de tempestades etc.) para os quais existe uma solução de referência (soluções analíticas ou mesmo numéricas validadas com observações). Em resumo, os esquemas mais utilizados podem ser divididos em três classes (Palma e Matano, 1998): 1) condições radiativas (Blumberg e Kantha, 1985), 2) Métodos característicos (Hedstrom, 1979), 3) Métodos de relaxação (Martinsen e Engedahl, 1987).

No modelo hidrodinâmico do Bloco BM-C-41, são utilizadas CCAs dos 3 tipos. Para velocidades baroclínicas (tanto u , quanto v), temperatura e salinidade nas fronteiras norte e sul, foram utilizadas CCAs com método de relaxação (Zavatarelli, 1999), que será descrita a seguir, enquanto na fronteira leste foi utilizada uma condição radiativa (Orlanski, 1976) para estas mesmas variáveis (vide resposta da questão 2). Já para as velocidades barotrópicas nas 3 fronteiras, utilizou-se a condição proposta por Flather (1976):

$$U_f = -\sqrt{g/h^*}(\eta - \eta_{ext})$$

IV.15

Onde U_f é a velocidade barotrópica na fronteira, g é a aceleração da gravidade, h é a profundidade e η é a elevação do nível do mar, dentro e na fronteira do domínio.

Para elevação do nível do mar foi utilizada uma condição radiativa (gradiente zero) já descrita na resposta anterior.

As CCAs para as velocidades baroclínicas, temperatura e salinidade seguiram o procedimento proposto por Zavatarelli, (1999), no qual dados de um modelo de maior escala (OCCAM, nesse caso) são prescritos nas fronteiras do modelo sendo interpolados linearmente no tempo.

As temperaturas e salinidades nas imediações da fronteira sul e norte são relaxadas para os dados climatológicos do OCCAM conforme Ezer & Mellor (2000):

$$\phi_J^{n+1} = \phi_J^{n+1} + cff * (\phi_{clim} - \phi_J^{n+1}) \quad \text{IV.16}$$

Onde:

Φ representa a temperatura ou salinidade;

J é o índice da linha, e nesse caso, a condição é aplicada nas dez linhas mais próximas das fronteiras;

n representa o tempo (sendo portanto $n+1$ o tempo avançado);

Φ_{clim} representa dados extraídos do OCCAM;

cff é o termo de relaxação, dado por:

$$cff = c1 - (c1 - c2) * \pm(J - B) / 10 \quad \text{IV.17}$$

Onde:

B representa a linha correspondente à fronteira norte ou sul;

$c1$ e $c2$ são termos de relaxação temporal, dados por:

$$C1 = 2 * dti / srt \quad \text{IV.18}$$

$$C2 = 2 * dti / wrt \quad \text{IV.19}$$

Onde Δt é o passo de tempo interno do modelo, Δt_r e Δt_w são os tempos de relaxação. Nesse caso, foi utilizado $\Delta t_r = 5$ dias e $\Delta t_w = 30$ dias.

Com isso, obtém-se uma "zona de relaxação" nas fronteiras, na qual os dados vão sendo forçados para valores climatológicos em períodos que variam de 5 a 30 dias, dependendo da distância da fronteira.

Os dados de correntes foram tratados da mesma maneira que os de temperatura e salinidade (Figura 20).

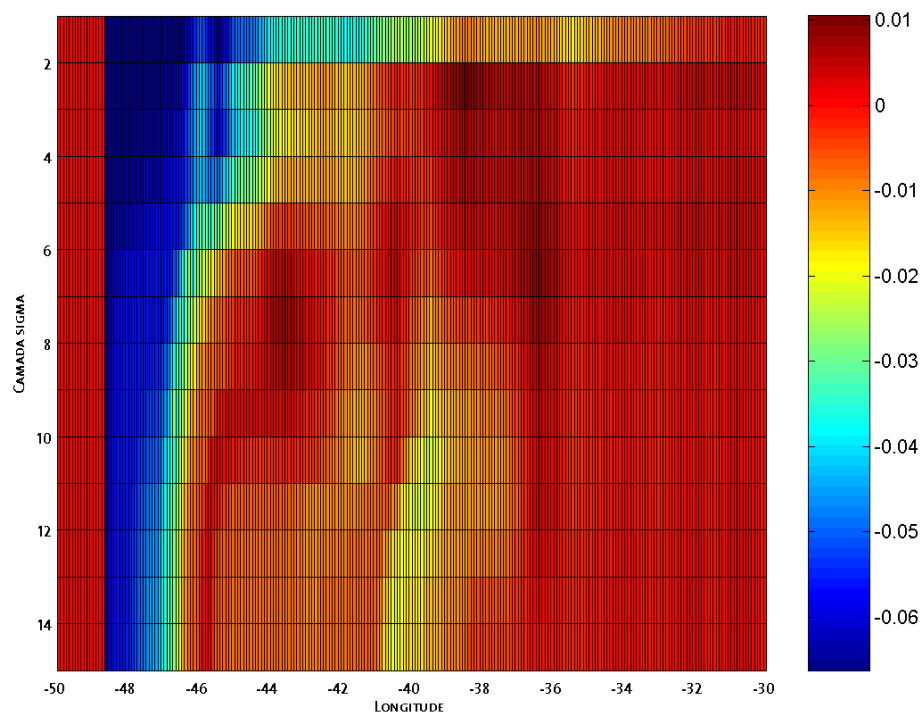


Figura 20: Condição de contorno lateral (fluxo de momento) do modelo hidrodinâmico. Velocidade em (m/s).

Os valores negativos indicam fluxo para sul e os positivos para norte. Notam-se maiores valores em superfície entre as longitudes de 49° e 47° W com direção sul, associados à CB. Entre as longitudes de 44° a 38° W nas camadas sigma de 2 a 9 existe uma contra corrente com direção norte, associada ao fluxo da Água Intermediária Antártica.

IV.3.1. Elevação do Nível do Mar

Para incluir a propagação da onda de maré, foi utilizada a condição de contorno de elevação na fronteira leste do modelo. Esses dados foram obtidos através das constantes

harmônicas fornecidas pelo modelo FES95 modelo (de "Finite Element Solutions"). As equações governantes do FES95 são as equações de águas rasas, barotrópicas e não-lineares, resolvidas utilizando método de elementos finitos. Para a fricção com o fundo é utilizada parametrização quadrática, mais adequada para regiões de águas rasas. A forçante de maré é baseada no desenvolvimento astronômico do potencial de maré, levando em conta as correções dos efeitos de maré terrestre (earth tides) e maré de carga (load tides) sendo ainda realizada assimilação de dados de altimetria de satélite. (Le Provost et al. 1995). A batimetria é retirada do banco de dados ETOPO5 do National Geophysical Data Center (NGDC) do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

São simuladas oito constituintes de maré (M2, S2, N2, K2, N2, K1, O1 e Q1) em todo globo, excluindo-se alguns mares interiores e baías como a Baía de Fundy. A grade do modelo FES95 apresenta resolução variável, porém os resultados que foram colocados a disposição da comunidade científica estão em grades de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. A partir destes, foram então retirados os dados de fase e amplitude de sete componentes (M2, S2, N2, K2, K1, O1 e Q1) para os pontos da fronteira leste da grade. Com esses dados foi realizada a previsão de maré, incluída como condição de contorno de elevação no POM. Esses dados foram interpolados linearmente para que cada ponto de grade da fronteira leste possua um valor de elevação correspondente. A Figura 21 mostra duas séries temporais de elevação utilizadas como condição de contorno; no primeiro (linha vermelha) e no último ponto de grade da fronteira leste (linha azul).

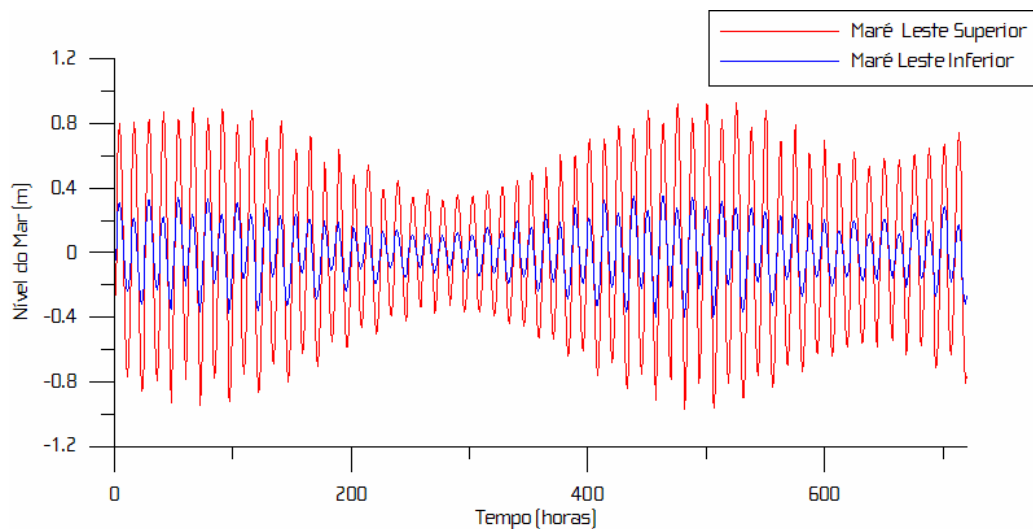


Figura 21: Condição de contorno de topo (elevação do nível do mar) do modelo hidrodinâmico.

Nas fronteiras norte e sul, a condição de contorno utilizada para a elevação é a de gradiente zero, representadas pela equação a seguir:

$$\frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \quad \text{IV.20}$$

Ou seja se a onda ali e propagando estiver saindo do domínio, esta condição tenta simular a saída da onda na fronteira sem reflexão e se estiver entrando, tenta fazer com que os efeitos da entrada sejam sentidos pelo interior do domínio.

IV.3.2. Correntes

As condições de contorno para as velocidades nas fronteiras norte e leste são as radiativas de Orlandi:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + C * \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0 \quad \text{IV.21}$$

Onde:

ϕ representa a componente meridional ou zonal da velocidade;

C é a velocidade de propagação das ondas que atingem a fronteira;

IV.3.3. Temperatura

A condição para temperatura e salinidade é a advecção upstream:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + v * \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0 \quad \text{IV.22}$$

V. RESULTADOS

V.1. Avaliação do Modelo

Para que possamos saber se o comportamento do sistema de previsão é suficientemente compatível com o "sistema real" é necessário realizar uma comparação entre os resultados obtidos nos dois mundos; o "real" e o simulado.

A nomenclatura contemporânea para tal estudo é "avaliação". Embora possa parecer um rótulo de pouca importância, os termos anteriormente utilizados para tal fim, sempre foram controversos. A primeira nomenclatura "validação" foi substituída por "comparação histórica", a qual foi complementada com o termo "garantia de qualidade". A dificuldade em se definir um termo reside no fato de que as palavras "validação" e "garantia" trazem em si uma expectativa de positivo e negativo em relação aos resultados. O modelo poderia ser somente válido ou não válido, garantido ou não garantido. Nesse sentido, o termo "avaliação" torna-se mais adequado, uma vez que é neutro e pode abarcar uma gama maior de definições em termos de qualificação do modelo ou sistema (Beck, 2002).

Em essência, são duas as principais perguntas que devem ser respondidas quando se avalia um modelo ou sistema:

1. O modelo foi construído com materiais aprovados, i.e. as hipóteses constituintes são consagradas e adequadas?
2. O seu comportamento se aproxima bem do observado com respeito ao "mundo real" ?

A primeira pergunta pode ser respondida com o grande número de artigos publicados em revista internacionais utilizando o POM para estudos de circulação oceânica em diversas escalas, nos mais variados corpos d'água.

Para responder a segunda pergunta foram realizadas comparações entre dados observados e os resultados obtidos pelo modelo, considerando diversos aspectos da dinâmica oceânica local.

V.1.1. Transporte de Volume

Para a avaliação de valores de transporte de volume são utilizados os mesmos dados analisados por Lima (1997). O método do cálculo do transporte de volume a partir dos dados de corrente foi o "método da caixa", adotado por Lima (1997). A Figura 22 apresenta um diagrama indicando a metodologia adotada.

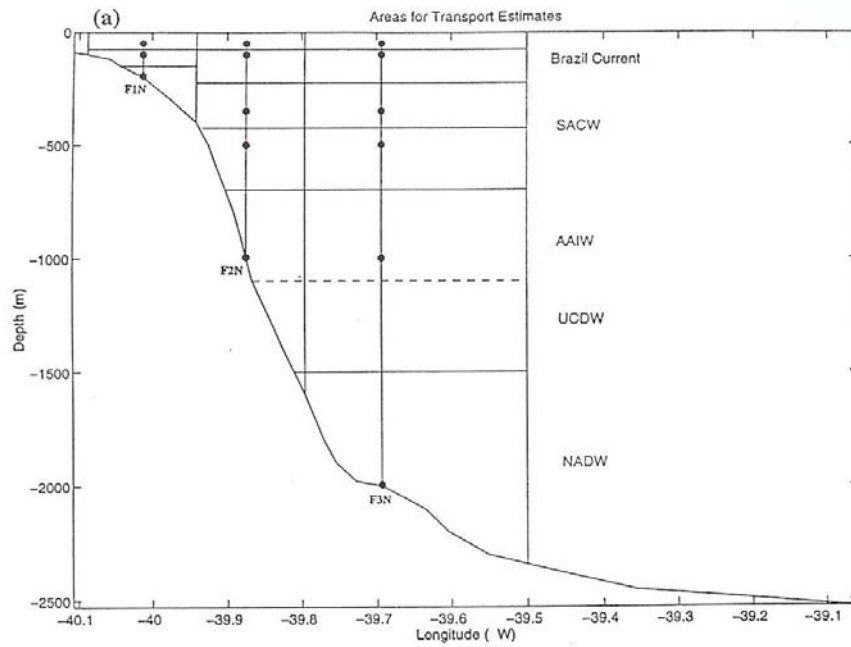


Figura 22: Representação esquemática da metodologia utilizada para o cálculo do transporte de volume (Lima, 1997).

Para obter-se os dados de transporte de volume modelados, os mesmos dados selecionados para as comparações das componentes meridionais de corrente foram utilizados. Os valores dessas componentes foram multiplicados pelas áreas escolhidas por Lima (1997), obtendo-se então o transporte de volume. As comparações podem ser observadas da Figura 23 à Figura 26.

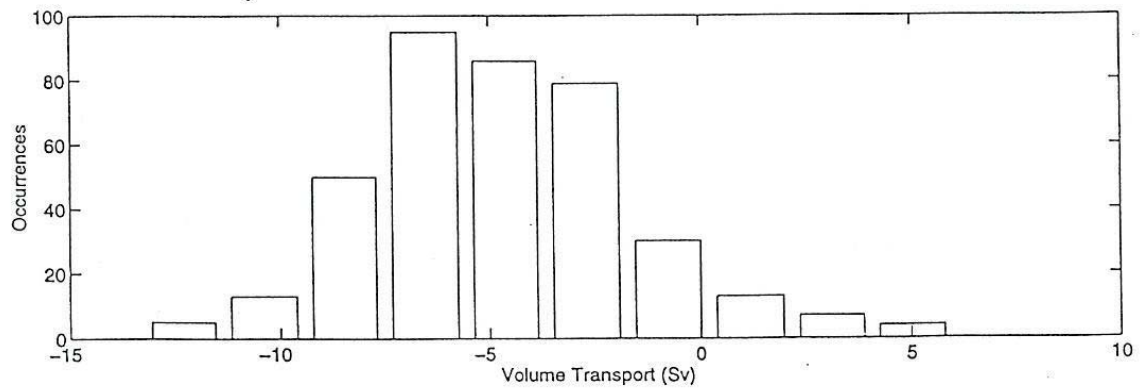


Figura 23: Histograma do transporte de volume da Corrente do Brasil entre maio de 1994 e maio de 1995, obtido por Lima (1997).

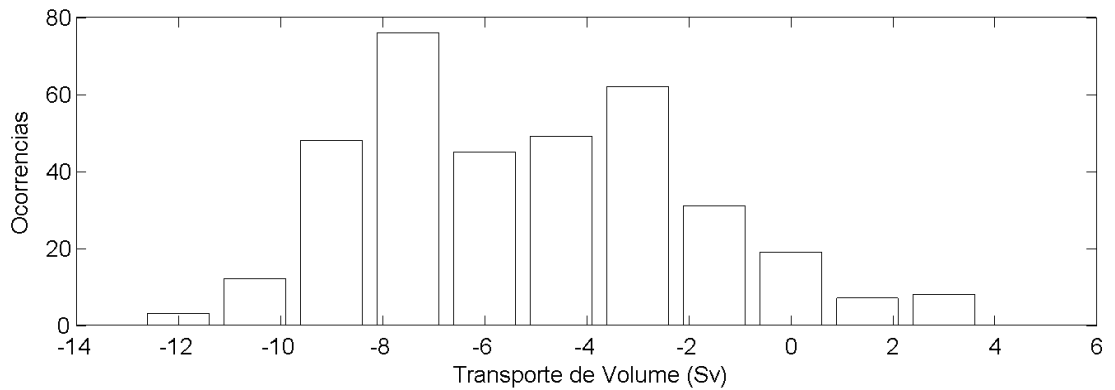


Figura 24: Histograma do transporte de volume da Corrente do Brasil para o ano de 1999 obtido pelo modelo numérico.

Lima (1997) encontrou transporte de volume médio para a Corrente do Brasil naquela região de -5.5 ± 2.6 Sv, contra $-5,1 \pm 3,2$ Sv calculados pela simulação, o que reflete boa concordância. Esse fato pode ser observado também nos histogramas, que apresentam comportamento bastante similar.

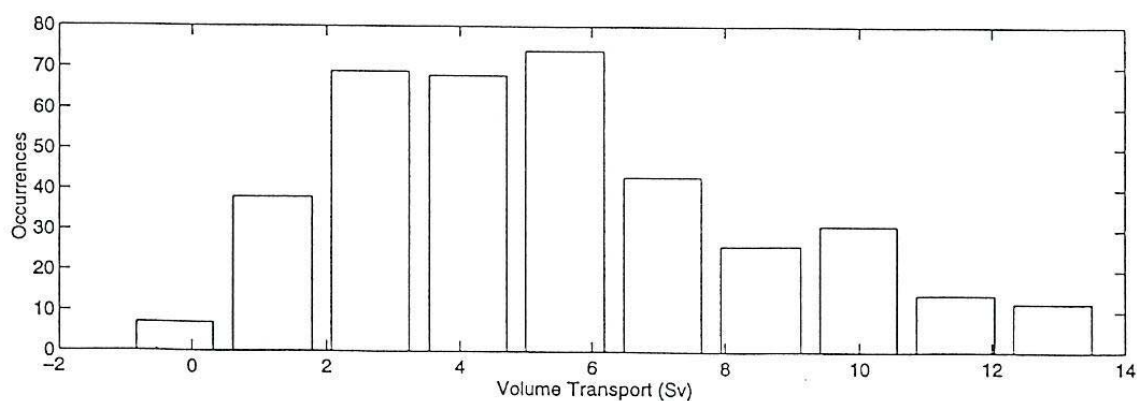


Figura 25: Histograma do transporte de volume da Contra Corrente Intermediária entre maio de 1994 e maio de 1995, obtido por Lima (1997).

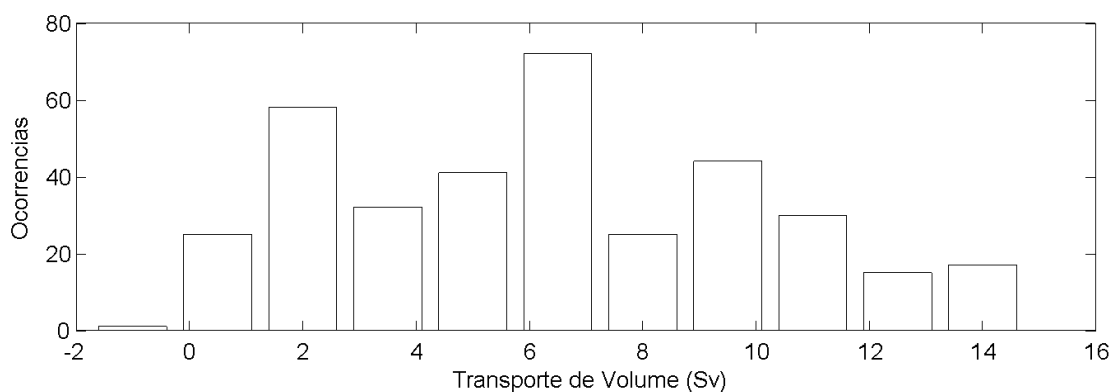


Figura 26: Histograma do transporte de volume da Contra Corrente Intermediária para o ano de 1999 obtido pelo modelo numérico.

O mesmo pode-se dizer em relação ao transporte da Contra Corrente Intermediária. Os valores simulados, $6,3 \pm 3,8$ Sv, são bem próximos aos calculados por Lima (1997), $6,6 \pm 3,5$ Sv, com histogramas apresentando comportamentos semelhantes.

V.1.2. Estrutura Termohalina

A fim de avaliar se as condições iniciais e as condições de contorno do modelo são capazes de representar de maneira adequada a estrutura termohalina da região, foram

realizadas comparações entre dados observados e modelados. Foram analisados dados de TSM obtidos por sensores AVHRR e perfis verticais de temperatura, salinidade e densidade medidos na região da Bacia de Campos (Lima, 1997).

Os dados de TSM estimados pelo sensor AVHRR são disponibilizados pelo projeto WOCE através da rede mundial de computadores no endereço <http://poet.jpl.nasa.gov>. A TSM é disponibilizada com resolução espacial de aproximadamente 5 minutos de arco (9,2 km) em forma de composições de oito dias.

Foram escolhidos dois períodos para as comparações; janeiro e junho. Essas datas foram selecionadas por serem as que apresentaram menor cobertura de nuvens e também para verificar se a variação sazonal do modelo estaria compatível com as observações.

Da Figura 27 até a Figura 32 são apresentados os dados de TSM estimados pelo satélite e obtidos pelo sistema de previsão, assim como o erro relativo.

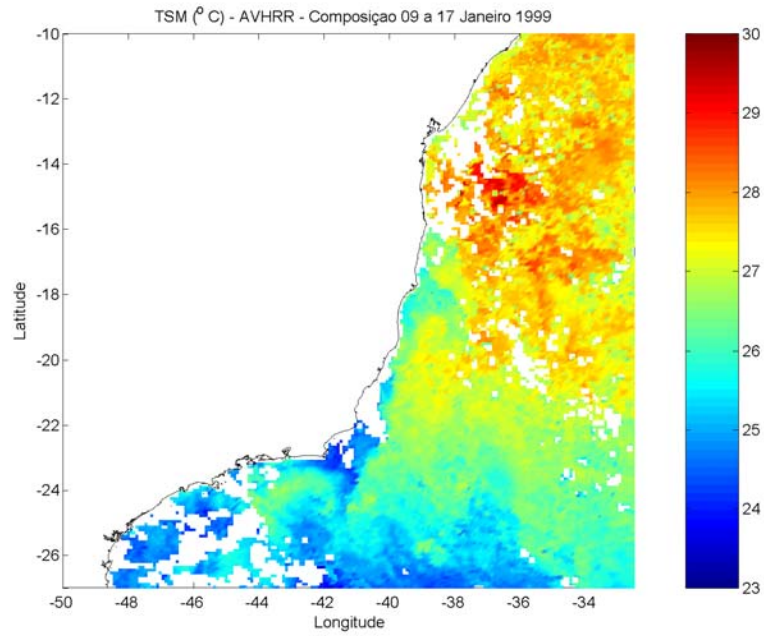


Figura 27: Temperatura da Superfície do Mar entre os dias 9 e 17 de janeiro de 1999 obtidos pelo sensor AVHRR. Dados disponibilizados pelo Projeto WOCE.

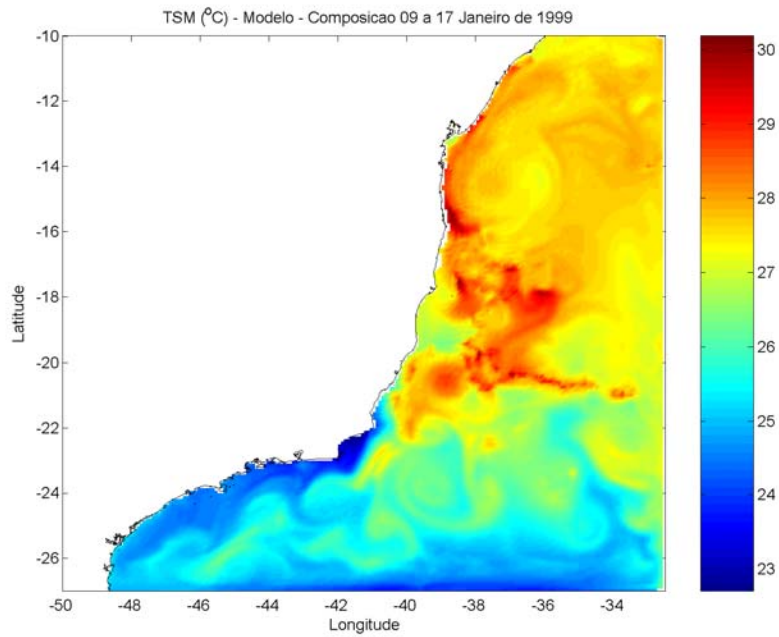


Figura 28: Temperatura da Superfície do Mar entre os dias 9 e 17 de janeiro de 1999 obtidos pelo modelo numérico.

Entre as latitudes de 10° a 22° S, pode-se observar, tanto nos dados obtidos por satélite, quanto nos simulados (Figura 27 e Figura 28), temperaturas em torno de 30° . A partir de 22° S, a TSM das águas transportadas pela Corrente do Brasil diminui, chegando a cerca de 26° C. As áreas adjacentes também apresentam menores valores em direção ao sul, passando de 28° C entre 10° e 20° S, a 26° C entre 20° e 24° S, até atingirem cerca de 24° C na região mais ao sul da grade.

Observa-se na região do Banco de Abrolhos, uma área de temperatura mais baixa (cerca de 26° C), em relação as águas adjacentes, talvez relacionado ao fato da Corrente do Brasil se deslocar em direção ao largo ao encontrar as menores profundidades do banco.

Na região costeira desde o Cabo de São Tomé até o final da grade, as temperaturas são as menores, chegando a 23° C em Cabo Frio.

O erro médio quadrático entre os dados observado e modelado para esse período é de $0,8^{\circ}$ C e as diferenças relativas de temperatura (Figura 29) são no máximo 5 %.

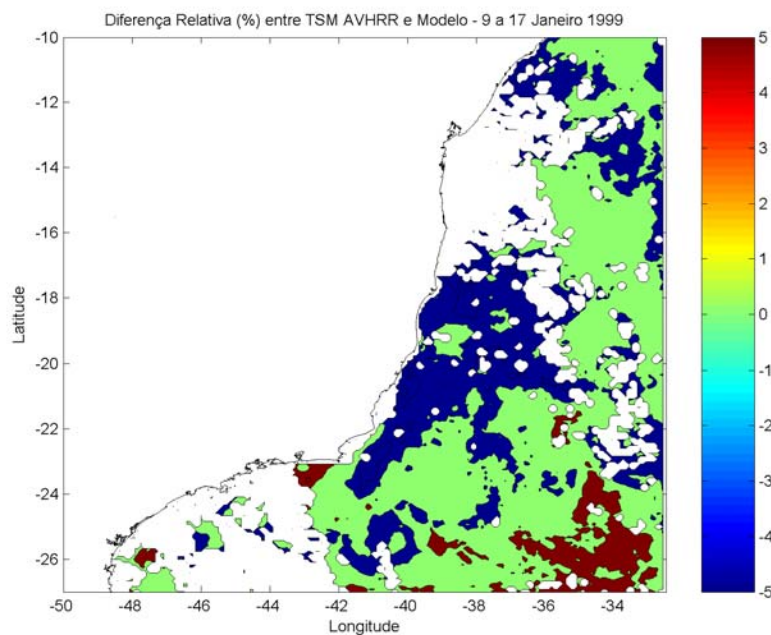


Figura 29: Diferença relativa (%) entre a TSM obtida pelo sensor AVHRR e pelo modelo numérico para o período de 9 e 17 de janeiro de 1999.

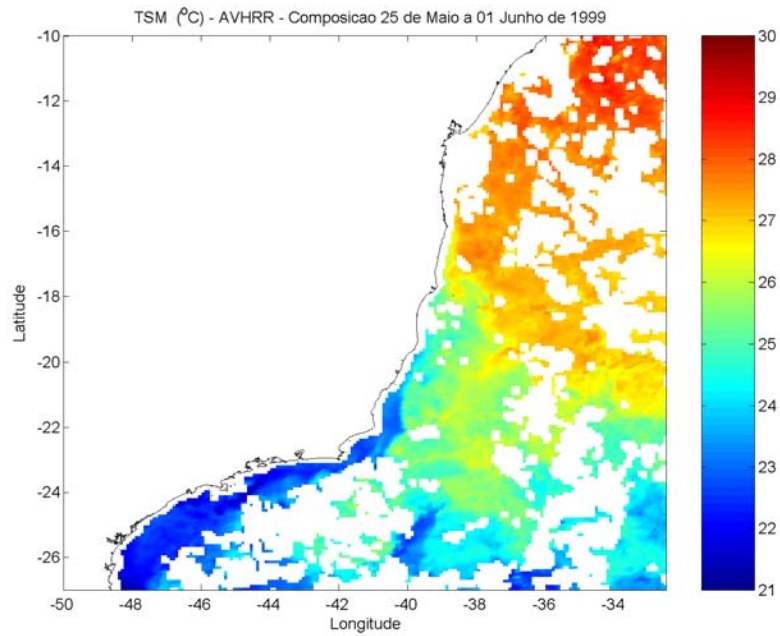


Figura 30: Temperatura da Superfície do Mar entre os dias 25 de maio e 1º de junho de 1999 obtidos pelo sensor AVHRR. Dados disponibilizados pelo Projeto WOCE.

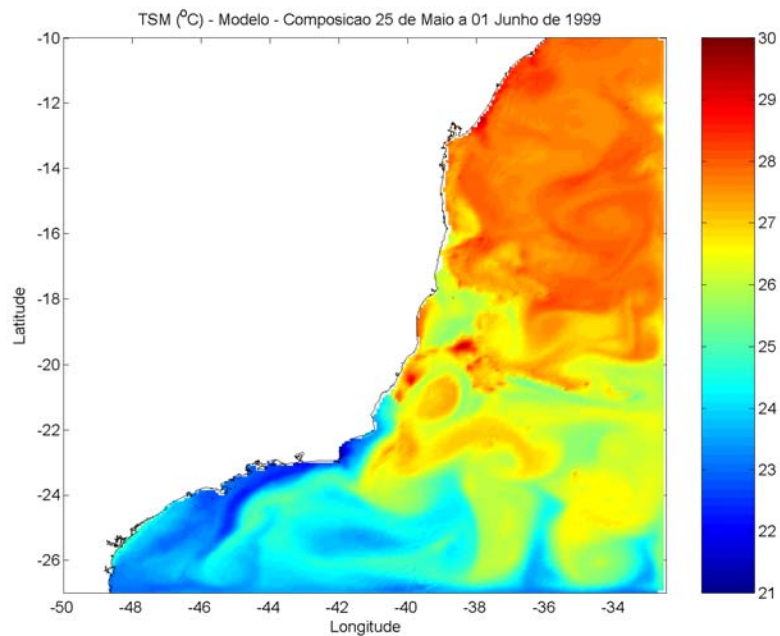


Figura 31: Temperatura da Superfície do Mar entre os dias 25 de maio e 1º de junho de 1999 obtidos pelo modelo numérico.

Para o período de maio/junho pode-se notar que as temperaturas mínimas chegam a 21° C, contra 23° C para o mês de janeiro. As temperaturas entre as latitudes de 10° a 22° S continuam em torno de 29° C. A latitude na qual a TSM começa a diminuir, agora é em torno de 20° C chegando a cerca de 25° C.

Na região costeira desde o Cabo de São Tomé até o a costa de Santa Catarina, as temperaturas estão entre 22 e 21° C.

O erro médio quadrático entre os dados observado e modelado para esse período é de $1,1^{\circ}$ C e as diferenças relativas de temperatura (Figura 29) alcançam, localizadamente, até 10%.

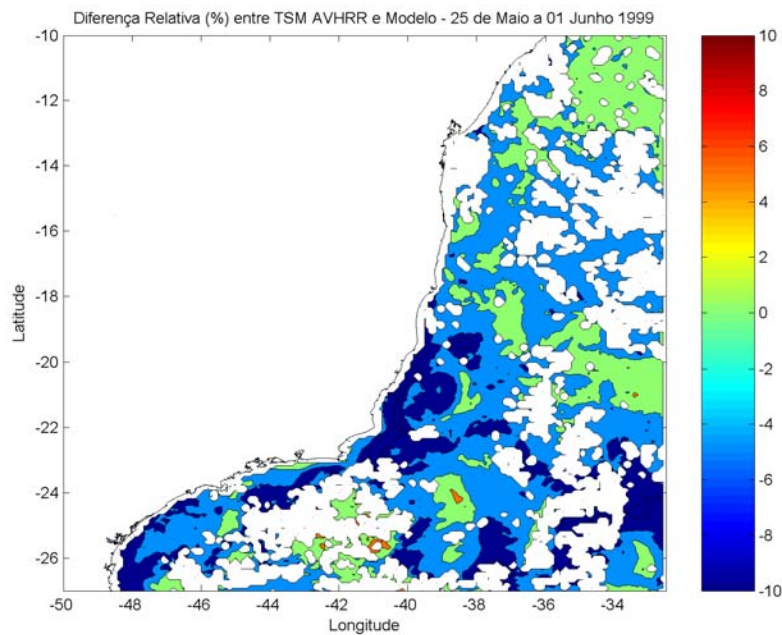


Figura 32: Diferença relativa (%) entre a TSM obtida pelo sensor AVHRR e pelo modelo numérico para o período de 25 de maio a 1^o de junho de 1999.

As comparações indicam que as condições iniciais e de contorno foram eficientes em reproduzir a variação sazonal da TSM. A posição da frente de temperatura também foi bem representada, evidenciando que a posição da Corrente do Brasil está compatível com o que se observa.

Para avaliar a estrutura termohalina ao longo da coluna d'água, foram comparados dados medidos pelo Projeto P2000, apresentados por Lima (1997). Os gráficos da Figura 33 até a Figura 38 mostram seções verticais na latitude de 22° S da temperatura potencial, salinidade e densidade potencial observados e modelados.

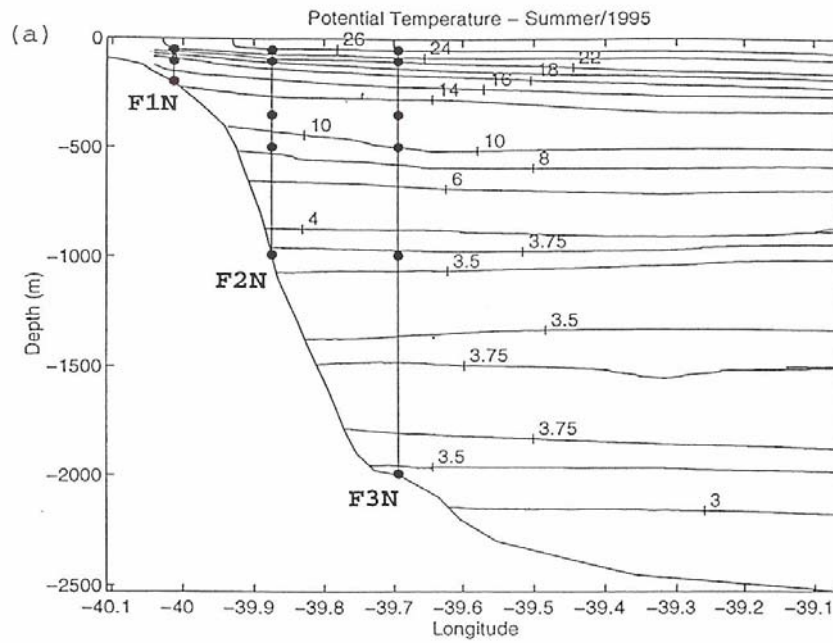


Figura 33: Seção vertical da temperatura potencial (oC) na latitude de 22° S obtida por medições in situ no verão de 1995. Fonte: Lima, 1997.

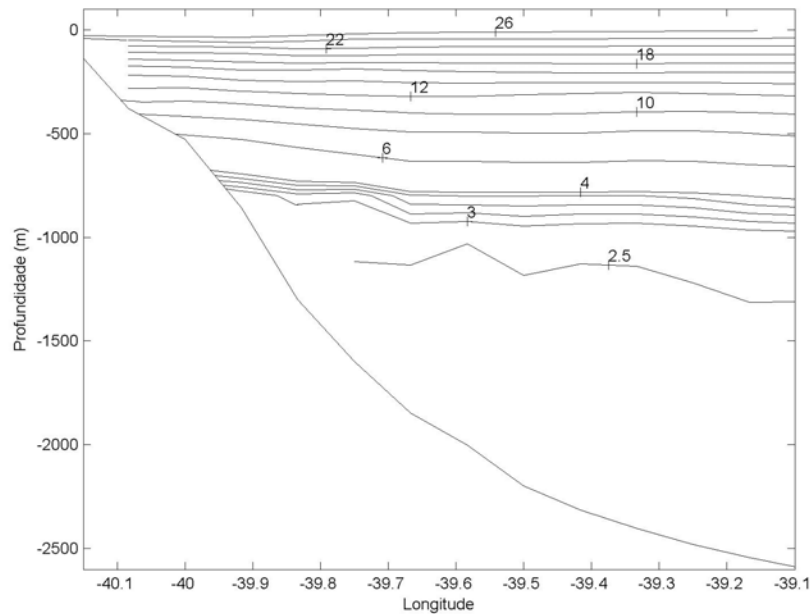


Figura 34: Seção vertical da temperatura potencial (oC) na latitude de 22° S obtida pelo modelo numérico no verão de 1999.

Os perfis verticais de temperatura potencial (Figura 33 e Figura 34) mostram configurações bastante similares. A posição das isotermas em relação a profundidade estão bastante próximas. Porém, nota-se que a partir da isoterma de 4° C, localizada entre as profundidades de 700 a 800m, o gradiente de temperatura é maior no modelo do que nos dados medidos, o que faz com que o modelo possua temperaturas mais baixas em águas mais profundas, chegando a 2,5° C.

Os perfis de salinidade (Figura 35 e Figura 36) mostram comportamentos semelhantes. A localização e os valores do mínimo de salinidade, associado à presença da Água Intermediária Antártica, são próximos, assim como a posição das isohalinas, e os valores de máxima salinidade em superfície.

Isso indica boa representação da estrutura vertical do modelo comparando-se com o que se observa na região da Bacia de Campos.

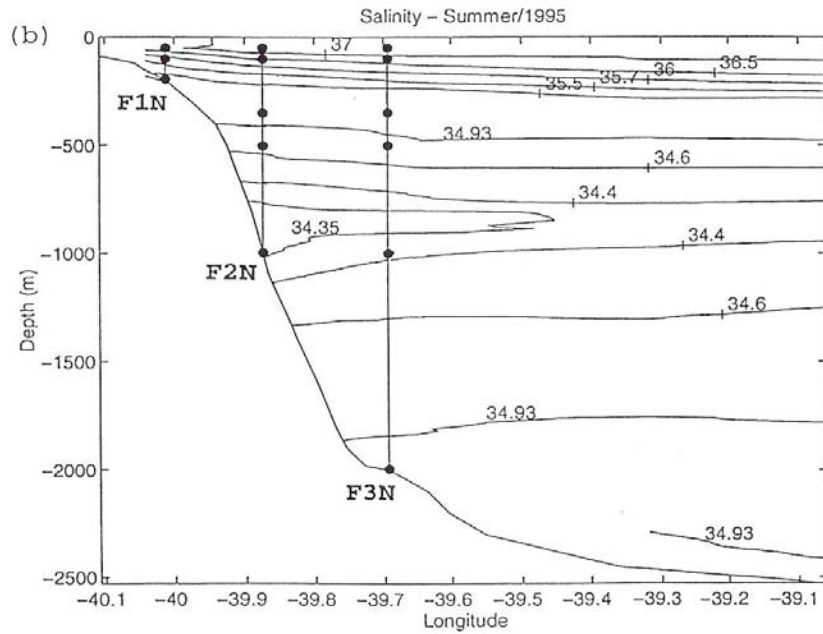


Figura 35: Seção vertical da salinidade na latitude de 22° S obtidos por medições in situ no verão de 1995. Fonte: Lima, 1997.

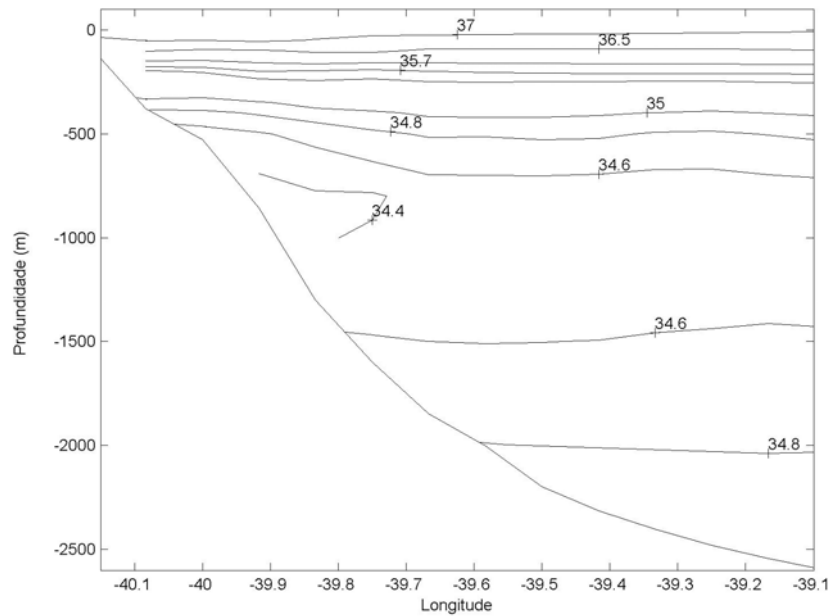


Figura 36: Seção vertical da salinidade na latitude de 22° S obtidos pelo modelo numérico no verão de 1999.

Como as estruturas verticais de temperatura e salinidade são semelhantes, esse fato reflete-se na distribuição da densidade potencial, que apresenta padrões compatíveis entre as observações e a simulação (Figura 37 e Figura 38).

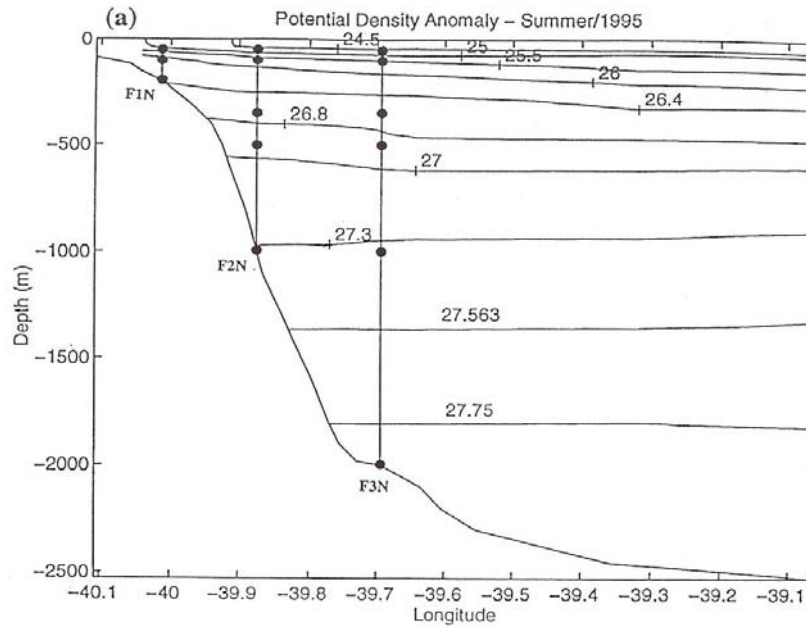


Figura 37: Seção vertical da densidade potencial na latitude de 22° S obtidos por medições in situ no verão de 1995. Fonte: Lima, 1997.

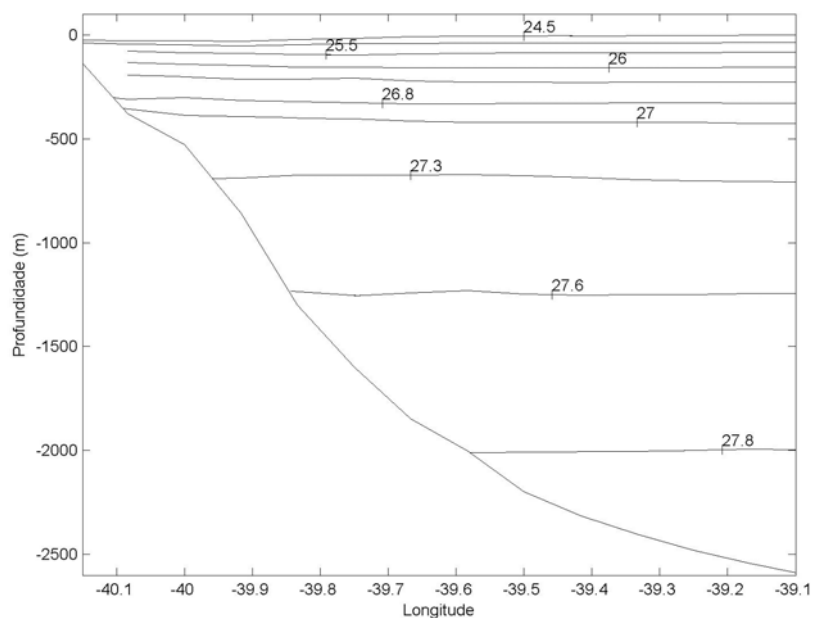


Figura 38: Seção vertical da densidade potencial na latitude de 22° S obtidos pelo modelo numérico no verão de 1999.

V.1.3. Campos de Corrente

Os resultados mostram que o sistema foi capaz de representar as principais feições de corrente presentes nas Bacias de Campos e Santos, ou seja, a Corrente do Brasil (Figura 39) e a contra corrente associada ao fluxo da Água Intermediária Antártica (Figura 40).

Outro resultado do modelo que não foi comparado com observações, mas que comporta-se como indica a literatura é a corrente que seria associada ao fluxo da Água Profunda do Atlântico Norte, em profundidades maiores que 2000m (Figura 41).

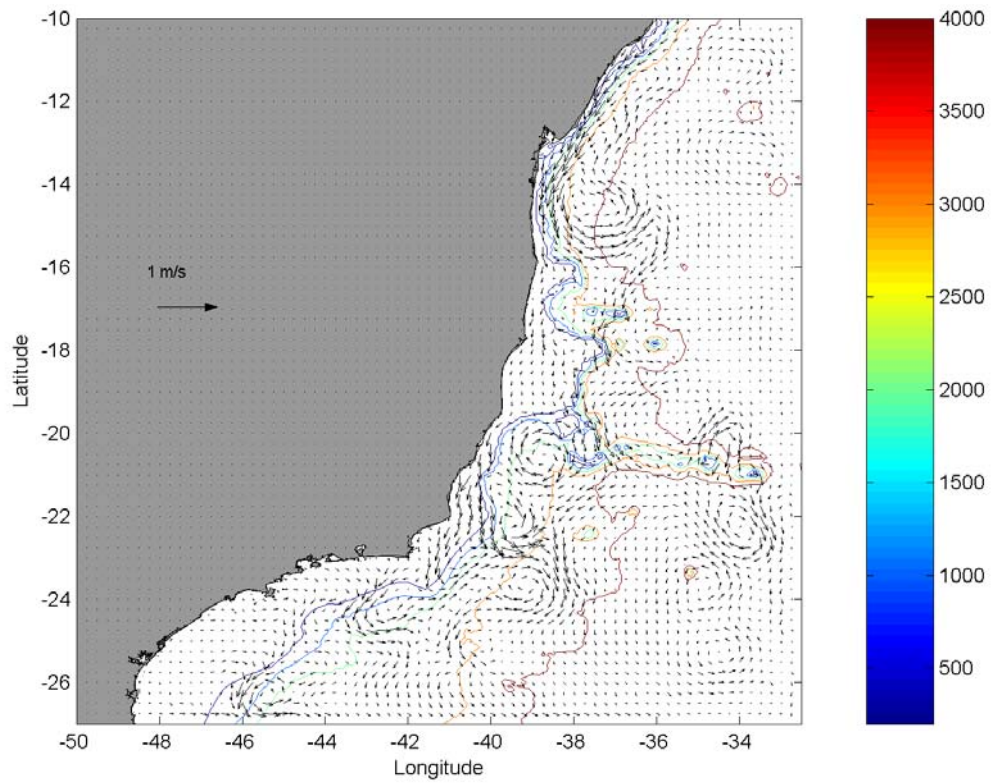


Figura 39: Correntes (m/s) em superfície obtidas pelo modelo numérico. A escala de cores refere-se à batimetria em metros.

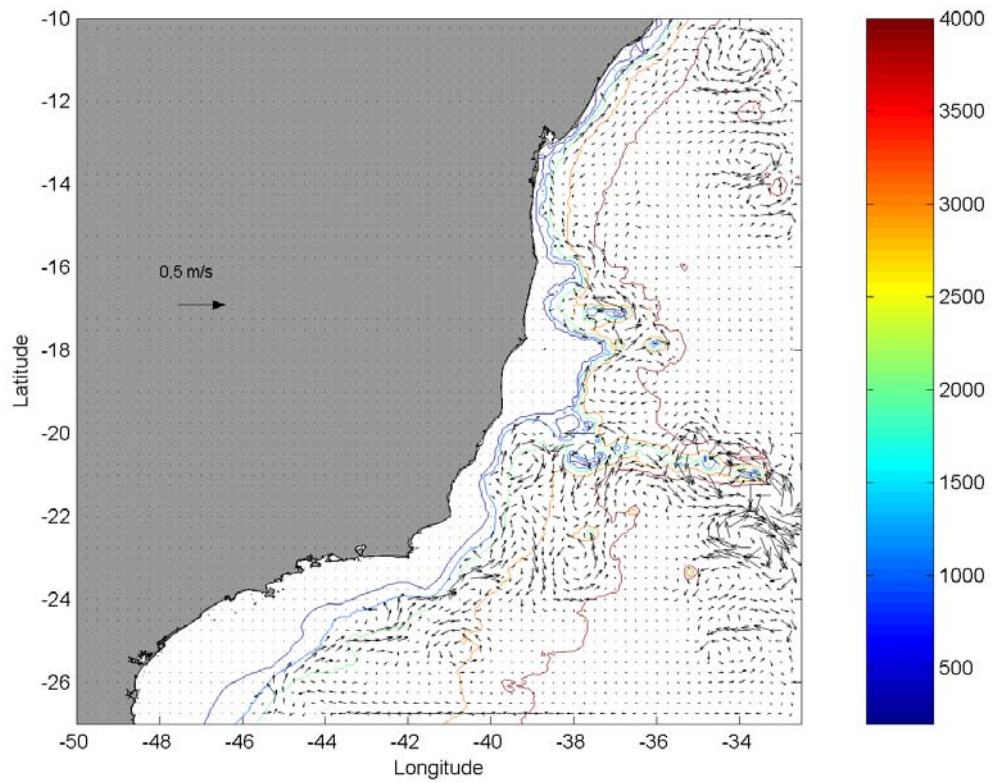


Figura 40: Correntes (m/s) a 1000 m obtidas pelo modelo numérico. A escala de cores de refere-se à batimetria em metros.

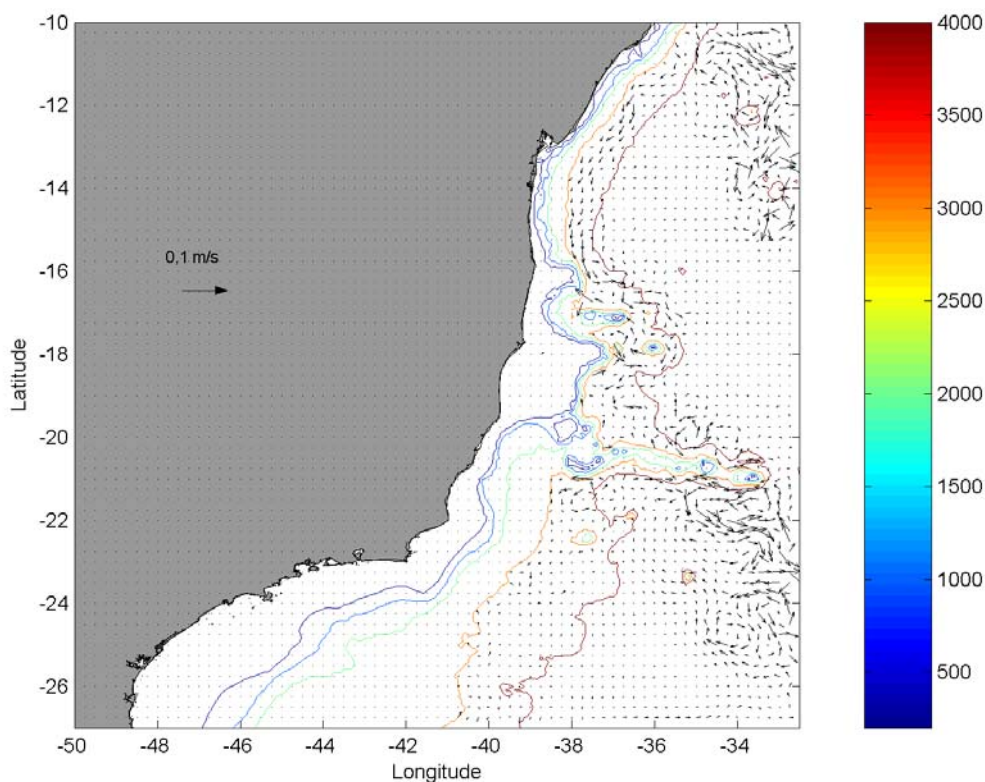


Figura 41: Correntes (m/s) a 3000m obtidas pelo modelo numérico. A escala de cores de refere-se à batimetria em metros.

VI. CONCLUSÕES

O modelo numérico hidrodinâmico de coordenadas sigma, POM (Princeton Ocean Model) foi implementado à região adjacente ao Bloco BM-C-41.

Após devidamente calibrado, o modelo foi executado para fornecer os campos de temperatura, salinidade e corrente. Os resultados das comparações entre os dados simulados pelo POM e os observados, tanto para a estrutura termohalina, quanto para a corrente em superfície e em profundidade foram considerados satisfatórios na representação da dinâmica oceânica da região, pois conseguiu reproduzir fenômenos em escala climática (Corrente do Brasil e fluxo da AIA, por exemplo) e de menor escala temporal (vórtices e meandros).

Sendo assim, estes dados foram considerados aptos a serem utilizados para as simulações de transporte de material no oceano realizadas para o Bloco BM-C-41.

VII. BIBLIOGRAFIA

Brandsma, M., & Smith, J., 1999. Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model Report and User Guide. *ExxonMobil Upstream Research Co.*

Beck, B., 2002 - "Model evaluation and performance." In: Encyclopedia of Environmetrics Volume 3, pp 1275–1279 - Edited by Abdel H. El-Shaarawi and Walter W. Piegorsch John Wiley & Sons, Ltd, Chichester

Blumberg, A. F. and G. L. Mellor, A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model, In Three-Dimensional Coastal Ocean Models, N. S. Heaps (Ed.), 1-16, American Geophysical Union, Washington, DC, 1987.

Boebel, O., C. Schmid, G. Podesta and W. Zenk, 1999: "Intermediate water in the Brazil-Malvinas Confluence Zone: A Lagrangian view". *Journal of Geophysical Research*, 104 (C9), pp. 21,063-21,082.

Calado, L. 2000, Dinâmica da Formação dos Meandros e Vórtices da Corrente do Brasil ao Largo do Sudeste Brasileiro, Dissertação de Mestrado – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.

Castro, B.M.; Miranda, L.B., 1998: "Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf located between 4°N and 34°S." In: Robinson, A.R.; Brink, K.H. (eds.): *The Sea*, Vol. 11: pp. 209-252, New York, John Wiley & Sons.

Castro Filho, Belmiro Mendes de; Miranda, Luiz Bruner de; Calado, Leandro; Nonnato, Luiz Vianna; Mattos, Rafael Augusto: *Condições oceanográficas de verão e inverno ao largo de Cabo Frio durante o projeto DEPROAS - Simpósio Brasileiro de Oceanografia, 1 : 2002 : São Paulo.*

DHN, 1969: "II Comissão Oceanográfica: NE "Almirante Saldanha" de 15/02 a 28/02/1957." Rel. DHN-DG 20(II), p.1-11.

Evans D.L. , S. S. Signorini & L.B. Miranda, 1983: A note on the transport of the Brazil Current. *Journal Of Physical Oceanography*, 9, 724-738.

Ezer,T. and G. L. Mellor, 1997. Simulations of the Atlantic Ocean with a free surface sigma coordinate ocean model. *J. Geophys. Res.*, 102(C7), 15,647-15,657.

Ezer, T., 2001. On the response of the Atlantic Ocean to climatic changes in high latitudes: Sensitivity studies with a sigma coordinate ocean model, In: *The Oceans and Rapid Climate Change: Past, Present and Future*, D. Seidov, B. J. Haupt and M. Maslin (Eds.). American Geophysical Union, 199-215.

Ezer, T. and G. L. Mellor: 1994 "Diagnostic and prognostic calculations of the North Atlantic circulation and sea level using a sigma coordinate ocean model" *J. Geophys. Res.*, 99(C7), pp. 14,159-14,171.

Ezer, T., and G. L. Mellor, 2004. A generalized coordinate ocean model and a comparison of the bottom boundary layer dynamics in terrain-following and in z-level grids. *Ocean Modelling*, 6(3-4), 379-403.

Ezer, T., H. Arango and A. F. Shchepetkin: 2002. "Developments in terrain-following ocean models: intercomparisons of numerical aspects", *Ocean Modelling*, 4, pp. 249-267

Gan, J., L. A. Mysak and D. N. Strub, 1998. Simulation of the South Atlantic Ocean circulation and its seasonal variability. *J. Geophys. Res.*, 103(C5), 10,241-10,251

Garfield, N. III - The Brazil Current at Subtropical Latitudes. Ph.D Disertation. University of Rhode Island,1990, 122 pp.

Gordon, A.L. and C.L. Greengrove, 1986: "Geostrophic circulation of the Brazil-Falkland Confluence." *Deep Sea Research*, 33, pp. 573-585.

Le Blond, PH and Mysak, LA, 1978 : *Waves in the Ocean*. 1a Edição. Elsevier Scientific Publishing, Amesterdã.

Le Provost, C., M.L. Genco, F. Lyard, P. Vincent & P. Canceil, 1994. Spectroscopy of the world ocean tides from a finit element hydrodynamic model. *Journal of Geophysical Research*,99(C12): 24.777-24.797.

Lima J. A. M., 1997: Oceanic circulation on the Brazilian shelf break and continental slope at 22°S. Tese De Doutorado. University Of New South Wales. Australia.

Mascarenhas Jr, A S 1985 - "Revisão sobre o cálculo da tensão de cisalhamento do vento sobre o oceano." In: Relatório Interno do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, n.14, pp.1-10

Mellor, G. L., and T. Yamada, Development of a tubulence closure model for geophysical fluid problems, *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 20, 851-875, 1982.

Mascarenhas Jr., A. DS., Miranda, L. B., y Rock, N. J., 1971, "A study of the oceanographic conditions in the region of Cabo Frio." *Fertility in the Sea*, Gordon & Breach, vol. 1, pp. 285-308.

Mellor, G. L., 2004. "User's Guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model". *Atmos. And Oceanic Sci. Program*, Priceton University, Princeton, N. J., USA.

Munk, W., 2000 – "Achievements in Physical Oceanography" In: 50 Years of Ocean Discovery: National Science Foundation 1950-2000 Ocean Studies Board, National Research Council, 276 pp.

Peterson, R.G. and L. Stramma, 1990: "Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean." *Progress in Oceanography*, 26, pp. 1-73.

Peterson, R.G., L. Stramma, and G. Kortum, 1996: "Early concepts in charts and circulation." *Progress in Oceanography*, 37, pp. 1-115.

Schmid, C., H. Schäfer, G. Podestá & W. Zenk, 1995. "The Vitória Eddy and Its Relation to the Brazil Current." *Journal of Physical Oceanography*, 25: pp. 2532-2546.

Signorini, S.R., 1978: On the circulation and volume transport of the Brazil Current between Cape of Sao Tome and Guanabara Bay, *Deep-Sea Research*, 25, 481-490 p.

Silveira, I. C.A. da; A. K. Schmidt; E.J.D. Campos; S. S. de Godoi; Y. Ikeda, 2001. "A Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira." *Rev. Bras. Oceanogr.*, 48(2), pp. 171-183.

Speer, K.G., J. Holfort, T. Reynard and G. Siedler, 1996: "South Atlantic heat transport at 11°S." In: The South Atlantic: Present and Past Circulation [Wefer, G., W. H. Berger, G. Siedler and D. J. Webb (eds.)]. Springer, pp. 105-120.

Stevens, I. & Johnson J. 1997 – "Sensitivity to open boundary forcing in a fine resolution model of the Iberian shelf-slope region," *Annales Geophysicae* 15, pp. 113-123.

Stommel, H. 1965. The Gulf Stream-a physical and dynamical description. Univ. Calif. Press, Berkeley, and Cambridge Univ. Press, Lond., 248 p.

Stramma, L., Y. Ikeda, R.G. Peterson, 1990: "Geostrophic transport in the Brazil Current region north of 20°S." *Deep-Sea Research*, 37 (12), pp. 1875-1886.

Stramma L., 1991: Geostrophic Transport of the South Equatorial Current in the Atlantic. *Journal of Marine Research*, 49. 281 - 294p



RELATÓRIO TÉCNICO [REV. 00]

MODELAGEM DE DISPERSÃO DE ÓLEO
Bloco BM-C-39

Preparado para:
OGX | HABTEC

Preparado por:
Anna Paula Fagundes
Leandro Calil
Leonardo Marques da Cruz

14 de julho de 2008

PROOCEANO

AV. RIO BRANCO, 311 / 1224 CENTRO
CEP 20.0040-009 RIO DE JANEIRO RJ
TEL | FAX +55 21 2532-5666
WWW.PROOCEANO.COM.BR

RELATÓRIO TÉCNICO [REV.00]

MODELAGEM DE DISPERSÃO DE ÓLEO
Bloco BM-C-39

Preparado para:
OGX | HABTEC

Preparado por:
Anna Paula Fagundes
Leandro Calil
Leonardo Marques da Cruz

14 de julho de 2008

ÍNDICE:

I. INTRODUÇÃO	4
II. METODOLOGIA.....	4
II.1. Modo Determinístico.....	4
II.1.1. Intemperismo	4
II.1.2. Cálculo da Espessura	4
II.2. Modo Probabilístico	4
III. CARACTERÍSTICAS DA SIMULAÇÃO.....	4
IV. FORÇANTES.....	4
IV.1. Variabilidade Ambiental.....	4
V. RESULTADOS	4
V.1. Modo Probabilístico	4
V.1.1. Vazamento de 8m ³	4
V.1.2. Vazamento de 200m ³	4
V.1.3. Blow-out	4
V.2. Modo Determinístico.....	4
V.3. Balanços de Massa (ou Processos do Intemperismo)	4
VI. CONCLUSÃO	4
VII. BIBLIOGRAFIA.....	4

I. INTRODUÇÃO

O presente relatório descreve os resultados obtidos na modelagem numérica do transporte de óleo no mar para um cenário acidental de vazamento no Bloco BM-C-39, Bacia de Campos, costa sudeste do litoral brasileiro. O local do vazamento é o poço Maui de coordenadas 23° 01' 15,02" S e 41° 06' 48,55" W.

Para contextualizar a questão, a metodologia aplicada para a realização das simulações, os modelos numéricos e os dados físicos usados serão também descritos.

II. METODOLOGIA

As simulações numéricas apresentadas nesse estudo foram feitas com o STROLL, modelo desenvolvido pela PROOCEANO para estudos de transporte de contaminantes no mar. O STROLL é um modelo lagrangeano capaz de simular o transporte advectivo-turbulento em até 3 dimensões além dos processos de intemperismo e a perda de massa de diversos tipos de contaminantes.

O STROLL possui dois modos de operação: determinístico e probabilístico.

A modelagem determinística consiste em estudar o comportamento do contaminante em um determinado cenário ambiental, apresentando instantâneos deste comportamento em tempos definidos pelo usuário.

Cabe à simulação probabilística, averiguar o comportamento do contaminante sob a influência de uma extensa combinação de cenários ambientais e determinar a probabilidade de presença e o tempo mínimo de chegada do mesmo em cada região do domínio do modelo.

Uma breve descrição destes modos, bem como dos processos de intemperismo será apresentada a seguir.

II.1. Modo Determinístico

A emissão de óleo no mar é representada pela inserção de um número de elementos n_e a cada intervalo de tempo Δt na região fonte. Considerando uma vazão Q m³/s, o volume inicialmente associado a cada elemento será:

$$q_{e,t=0} = \frac{Q\Delta t}{n_e} \quad (II-1)$$

O transporte advectivo de cada elemento é dado através do cálculo de sua posição p_e a cada passo de tempo. Com isso, a posição do elemento e no instante t é dada por:

$$p_{e,t+1} = p_{e,t} + \Delta t \frac{dp_e}{dt} + \frac{\Delta t^2}{2} \frac{d^2 p_e}{dt^2} \quad (II-2)$$

Onde:

$$\frac{dp_{i,e}}{dt} = \vec{u}_i \quad \text{é a velocidade e} \quad (11-3)$$

$$\frac{d^2 p_{i,e}}{dt^2} = \frac{d\vec{u}_i}{dt} = \frac{\partial \vec{u}_i}{\partial t} + \vec{u}_i \frac{\partial \vec{u}_i}{\partial x_i} \quad \text{a aceleração} \quad (11-4)$$

Para $i = 1, 2$. A velocidade \vec{u}_i (u e v) é obtida através de interpolação bi-linear no espaço e linear no tempo, dos dados fornecidos pelo modelo hidrodinâmico e pelo campo de vento, cuja contribuição, nesse caso, é de 1,5% de sua intensidade.

A aceleração é obtida através da derivação no tempo dos valores de velocidade interpolados. Os valores de velocidade utilizados são fornecidos por um modelo hidrodinâmico externo.

A difusão turbulenta do material é simulada através de modelos de passos aleatórios (*random walk models*), cuja idéia central consiste em adicionar um desvio de velocidade aleatório \vec{u}'_i às velocidades advectivas (Csanady, 1972).

11.1.1. Intemperismo

O STROLL simula os principais processos de intemperismo que ocorrem no óleo quando este é derramado no mar: espalhamento, evaporação, emulsificação e dispersão, e as consequentes mudanças nas propriedades físicas, como a densidade e a viscosidade.

11.1.1.1. Viscosidade e Densidade do Contaminante

A variação temporal da densidade do óleo ($\rho_o(t)$) é calculada de forma indireta, em função do conteúdo de água (Wc) presente na mistura e da fração de óleo evaporada ($frac_{evap}$), que são calculadas a cada passo de tempo do modelo, segundo a formulação apresentada à seguir:

$$\rho_o(t) = Wc * \rho_{\acute{a}gua} + (1 - Wc) \rho_0 [1 - c_1 (T - T_{\acute{a}gua}) (1 - c_2 frac_{evap})] \quad (11-5)$$

onde ρ_o é a densidade do óleo, ρ_0 é a densidade inicial do óleo, $\rho_{\acute{a}gua}$ a densidade da água, T e $T_{\acute{a}gua}$ a temperatura do óleo e da água, respectivamente, $frac_{evap}$ a fração de óleo evaporada, e c_1 e c_2 as constantes empíricas específicas para cada tipo de óleo.

A viscosidade do constituinte μ varia ao longo de sua trajetória, sendo parametrizada por Mackay *et al.* (1983) *apud* Lehr *et al.* (2002).

$$\mu = \mu_0 \cdot \exp \left[\left(C_{evap} \frac{frac_{evap}}{1 - C_{emul2}} + C_{temp} \left(\frac{T_{\acute{a}gua} - T}{T_{\acute{a}gua} T} \right) \right) \right] \quad (11-6)$$

onde μ_0 é a viscosidade inicial do constituinte, C_{evap} é a constante de evaporação e igual a 5000 K (NOAA, 2000), C_{temp} uma constante empírica adimensional que depende do tipo de óleo, podendo variar entre 1 e 10. Para as constantes adimensionais C_{emul1} e C_{emul2} , NOAA(2000) sugere valores de 2,5 e 0,65, respectivamente.

11.1.1.2. Espalhamento

Admitindo que a fase inicial do espalhamento (gravitacional-inercial) de uma mancha de óleo é muito curta, o STROLL parte da fase gravitacional-viscosa para calcular o espalhamento, assumindo que quando a espessura da mancha decresce até um determinado valor, o espalhamento termina. Assim o raio R_0 da área inicial é calculado por:

$$R_0 = \frac{K_2^2}{K_1} \left(\frac{V_0^5 g \Delta}{\mu_{\acute{a}gua}} \right)^{\frac{1}{12}} \quad (11-7)$$

onde K_1 e K_2 , recomendado por Flores *et al* (1999) *apud* Soto (2004), são iguais a 0,57 e 0,725, respectivamente, V_0 o volume inicial do óleo derramado, $\mu_{\acute{a}gua}$ a viscosidade da água e Δ a diferença relativa de densidade da água e do óleo:

$$\Delta = \frac{\rho_{\acute{a}gua} - \rho_{\acute{o}leo}}{\rho_{\acute{o}leo}} \quad (11-8)$$

11.1.1.3. Evaporação

O STROLL utiliza o modelo de evaporação proposto por Jones (1997), o qual se baseia na relação de Mackay & Matsugu (1973), porém considerando o óleo como sendo uma mistura de componentes. Essa abordagem é também conhecida com modelo de Pseudo-Componentes, onde a taxa de evaporação pode ser obtida por:

$$\frac{dV_j}{dt} = \frac{K_j A \bar{V}_j \chi_j P_j}{R T} \quad (11-9)$$

onde j varia de acordo com o número de pseudo-componentes, K_j é o coeficiente de transferência de massa do pseudo-componente; A é a área da mancha; \bar{V}_j é o volume molar do pseudo-componente; χ_j é a fração molar do componente; P_j é a pressão de vapor do pseudo-componente; R é a constante universal dos gases e T é a temperatura.

A fração molar de cada pseudo-componente muda com o tempo e é constituída pela razão entre o número de moles do pseudo-componente, que é obtido dividindo-se o seu volume por seu volume molar, e a soma do número de moles total da mistura.

O volume molar de cada pseudo-componente é obtido através de uma correlação de dados de pontos de ebulição e volumes molares de uma série de alcanos com números de carbonos variando entre 3 e 20 (C3 e C20), expressa por:

$$\bar{V}_j = 7 \times 10^{-5} - (2,102 \times 10^{-7} BP_j) + [1 \times 10^{-9} (BP_j)^2] \quad (II-10)$$

onde BP_j é o ponto de ebulição de cada componente.

A pressão de vapor de cada pseudo-componente na temperatura ambiente é obtida através de seus pontos de ebulição, utilizando-se a Equação de Antoine, segundo Lyman *et al.* (1990) *apud* Jones (1997):

$$\ln \frac{P_j}{P^0} = \frac{\Delta S_j \cdot (BP_j - C)^2}{R \cdot BP_j} \cdot \left[\frac{1}{BP_j - C} - \frac{1}{T - C} \right] \quad (II-11)$$

onde P^0 é a pressão atmosférica; $\Delta S_j = 8,75 + 1,987 \log(BP_j)$, é a variação na entropia do componente oriunda da vaporização e $C = (0,19 \cdot BP_j) - 18$ é uma constante determinada a partir do ponto de ebulição do pseudo-componente.

O coeficiente de transferência de massa é calculado segundo Mackay & Matsugu (1973):

$$K_i = 0,0048 \cdot U^{7/9} \cdot Z^{-1/9} \cdot Sc_j^{-2/3} \quad (II-12)$$

onde U é a velocidade do vento; Z é o comprimento da mancha na direção do vento; e Sc é o número de Schmidt do pseudo-componente.

O número de Schmidt expressa a razão entre a viscosidade cinemática do ar com a difusividade molecular do pseudo-componente.

Para obter-se a difusividade molecular do pseudo-componente usa-se a seguinte aproximação, segundo (Thibodeaux, 1979 *apud* Jones, 1997):

$$D_j = D_{\text{água}} \sqrt{\frac{MW_{\text{água}}}{MW_j}} \quad (II-13)$$

onde $D_{\text{água}}$ é a difusividade molecular da água; e $MW_{\text{água}}$ é o peso molecular da água.

O peso molecular de cada pseudo-componente é calculado através de uma correlação também obtida de uma série de alcanos C3 a C20:

$$MW_j = 0,04132 - \left(1,985 \cdot 10^{-4} \cdot BP_j \right) + \left[9,494 \cdot 10^{-7} \cdot (BP_j)^2 \right] \quad (II-14)$$

Reescrevendo a equação em termos de volume e volume molar, as taxas de evaporação de cada pseudo-componente pode ser obtida por:

$$\frac{dV_j}{dt} = - \frac{A \cdot K_j \cdot P_j \cdot V_j}{R \cdot T \cdot \sum_{k=1}^{nc} \frac{V_j}{V_k}} \quad (II-15)$$

II.1.1.4. Emulsificação

A incorporação de água no óleo é descrita no modelo por uma equação proposta por Mackay *et al* (1980):

$$\frac{dfrac_{wv}}{dt} = K_w (1 + W)^2 \left(1 - \frac{frac_{wv}}{frac_{wv}^{final}} \right) \quad (II-16)$$

em que $frac_{wv}$ é a fração volumétrica de água incorporada na emulsão, $frac_{wv}^{final}$ é a fração final de água incorporada e K_w uma constante empírica e igual a $1,6 \times 10^{-6}$.

II.1.1.5. Dispersão

A formulação utilizada para o cálculo do entranhamento no STROLL é baseada no modelo desenvolvido por Delvigne & Sweeney (1988) a partir de estudos sobre o entranhamento ou dispersão superficial e subsuperficial de óleo, realizados em laboratório.

Nesse modelo, a taxa de entranhamento por unidade de área é expressa por:

$$Q(d_0) = C_0 \cdot D_{ba}^{0,57} \cdot S_{cov} \cdot F_{wc} \cdot d_0^{0,7} \cdot \Delta d \quad (II-17)$$

onde $Q(d_0)$ é a taxa de entranhamento por unidade de área no intervalo Δd de diâmetros de gotículas de óleo em torno de d_0 $\left(d_0 - \frac{1}{2} \Delta d \text{ a } d_0 + \frac{1}{2} \Delta d \right)$; d_0 é o diâmetro da gotícula de óleo; C_0 é uma constante de dispersão, relacionada a viscosidade do óleo; D_{ba}

é a energia de dissipação por ondas; S_{COV} é o fator de cobertura da superfície do mar por óleo ($0 \leq S_{COV} \leq 1$), sendo $S_{COV} = 1$ para manchas contínuas; F_{wc} é a fração da superfície do mar suscetível a quebra de ondas (encapelamento) por unidade de tempo.

A energia de dissipação por ondas por unidade de área é calculada por:

$$D_{ba} = 0,0034 \cdot \rho_w \cdot g \left[\frac{HS}{\sqrt{2}} \right]^2 \quad (11-18)$$

onde HS é a altura significativa de ondas, podendo ser calculada por: $HS = \frac{0,243 \cdot U^2}{g}$,

sendo U a velocidade do vento; ρ_w é a densidade da água; e g a aceleração da gravidade.

Para estimar a fração da superfície do mar suscetível ao encapelamento, o modelo utiliza a formulação proposta por Monahan (1971), Ding & Farmer (1994) *apud* Lehr & Simecek-Beatty (2000) e Lehr & Simecek-Beatty (2000), sendo:

$$\begin{aligned} F_{wc} &= \frac{0,025 \cdot (U - 3)}{T_M} \rightarrow 0 \leq U \leq 4; \\ F_{wc} &= \frac{0,01 \cdot U + 0,01}{T_M} \rightarrow U > 4, \end{aligned} \quad (11-19)$$

onde T_M é a constante de tempo de Monahan (1971), sendo $T_M = 3,85$ para água do mar.

Segundo Lehr & Simecek-Beatty (2000), variações nos diâmetros das gotículas de óleo acarretam em diferentes flutuabilidades para as mesmas, causando estratificação na concentração de óleo na coluna de água. Ainda segundo esses autores, a partir 50 a 100 μ de diâmetro, as partículas apresentam flutuabilidade neutra, sendo o movimento dominado pela dispersão horizontal e vertical sobre os efeitos de flutuabilidade.

O intervalo de diâmetro das gotículas de óleo utilizado no STROLL, assim como o modelo ADIOS2 (Lehr, 2002) varia entre $d_{\min} = 0\mu$ a $d_{\max} = 70\mu$.

A constante de dispersão C_0 , segundo Delvigne & Hulsen (1994) pode ser obtida através da seguinte relação:

$$\begin{aligned} C_0 &= 1827 \ v^{0,0658} \rightarrow v < 125 \ cSt; \\ C_0 &= 1827 \ v^{1,1951} \rightarrow v > 125 \ cSt; \end{aligned} \quad (11-20)$$

onde ν é a viscosidade do óleo.

Integrando a taxa de entranhamento por unidade de área no intervalo Δd de diâmetros de gotículas de óleo ($Q(d_0)$) no intervalo de gotículas d_{\min} a d_{\max} , obtêm-se:

$$Q = \frac{d_{\max}}{1,7} \cdot C_0 \cdot D_{ba}^{0,57} \cdot F_{wc} \cdot S_{cov} \quad (11-21)$$

sendo Q a taxa de entranhamento total, por unidade de área.

Para estimar a penetração máxima do óleo na coluna de água o modelo utiliza a equação proposta por Delvigne & Sweeney (1988):

$$Z_i = (1,5 \pm 0,35) \cdot H_b \quad (11-22)$$

onde H_b é a altura de quebra da onda.

11.1.2. Cálculo da Espessura

A espessura do óleo associada a cada elemento é dada por:

$$esp_e(x, y, t) = \frac{q_e}{2\pi[\sigma(t)]^2} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x - p_{x,e}(t)}{\sigma(t)}\right)^2 + \left(\frac{y - p_{y,e}(t)}{\sigma(t)}\right)^2\right]\right\} \quad (11-23)$$

onde q_e é o volume de cada elemento, x e y as coordenadas do ponto de grade, $p_{x,e}$ e $p_{y,e}$ a posição do centro de massa de cada elemento e $\sigma_i^2(t)$ é a variância da distribuição, relacionado à turbulência local através da equação:

$$D = \frac{1}{2} \frac{d\sigma^2(t)}{dt} \quad (11-24)$$

sendo D a difusividade turbulenta isotrópica horizontalmente, parametrizada à partir do escoamento, obtido do modelo hidrodinâmico, segundo a formulação de Smagorinsky:

$$D = C \Delta x \Delta y \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 \right]^{1/2} \quad (11-25)$$

onde Δx e Δy são os intervalos de discretização da grade e C é a constante de Smagorinsky, cujos valores para o oceano variam da ordem de 0,1 a 0,2 (Oey *et al.*, 1985a e b).

A espessura resultante de todo o descarte é então obtida através da soma da contribuição de cada elemento:

$$ESP(x, y, t) = \sum_{e=1}^{n_e} esp_e(x, y, t) \quad (11-26)$$

11.2. Modo Probabilístico

Na abordagem probabilística utilizada são realizadas diversas simulações determinísticas, considerando-se todos os processos citados nos itens anteriores, em diferentes cenários meteo-oceanográficos. Este módulo do STROLL tem por objetivo verificar a probabilidade de presença do constituinte na região estudada, bem como o tempo de chegada, a fim de determinar um cenário crítico para o descarte de contaminantes na região.

De acordo com os cenários meteo-oceanográficos locais, as séries temporais de vento e corrente são repartidas em 4 séries sazonais – correntes-verão, correntes-inverno, ventos-verão, ventos-inverno – conforme apresentado no esquema da Figura 1.

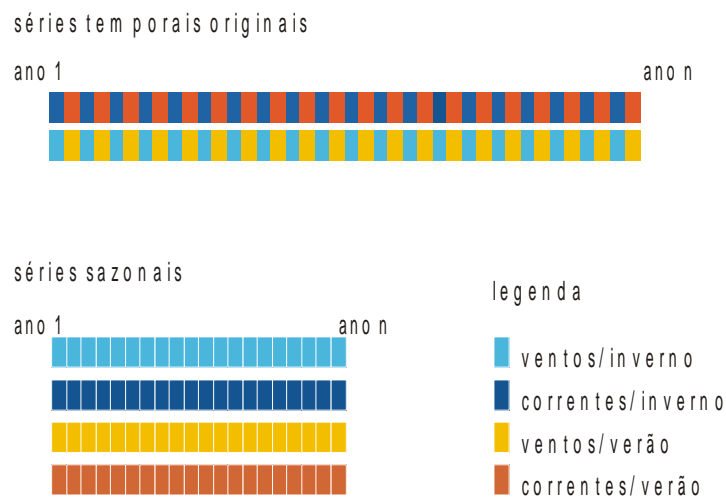


Figura 1: Representação esquemática da separação sazonal dos dados para a modelagem probabilística.

As séries de vento e corrente são então combinadas em diversos arranjos de forma a contemplar de forma ideal os possíveis cenários ambientais (Figura 2).

exemplo: probabilístico de verão

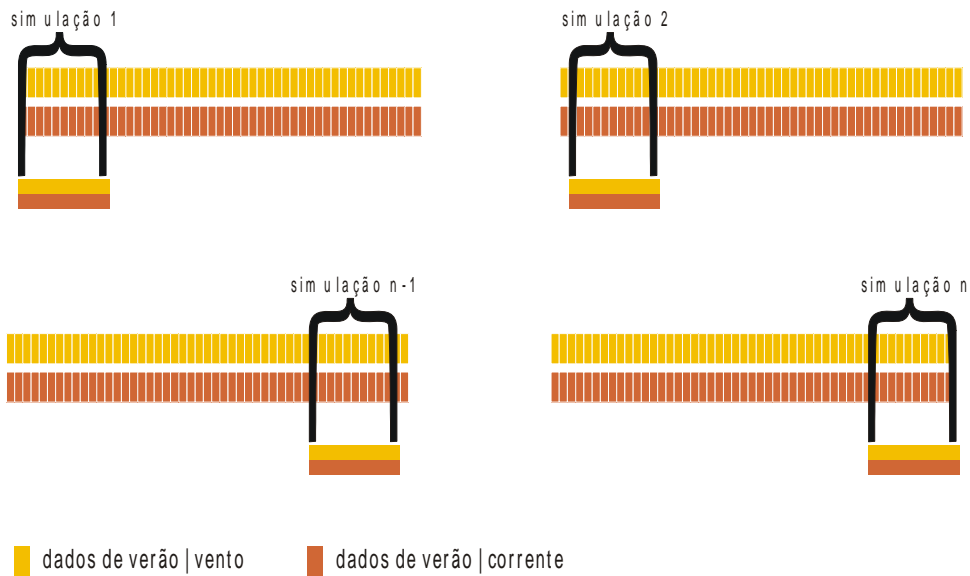


Figura 2: Representação esquemática da combinação dos dados de vento e corrente para a simulação probabilística.

Cada combinação de vento e corrente irá determinar um comportamento para o vazamento. O modelo identifica, em cada combinação, os pontos de grade onde a espessura da mancha do constituinte esteve acima do limiar determinado (Figura 3 , b e c):

$$I(x, y) = 1 \quad \text{se } ESP(x, y, t) \geq \text{lim}$$

$$I(x, y) = 0 \quad \text{se } ESP(x, y, t) < \text{lim}$$

A probabilidade de presença do poluente será dada pela normalização do número de vezes em que a mancha esteve acima do limiar em cada ponto de grade pelo número de combinações n_{com} realizadas (Figura 3 d):

$$P(x, y) = \sum_{i_{sim}=1}^{n_{com}} \left(\frac{I(x, y)}{n_{com}} \right) \quad (11-27)$$

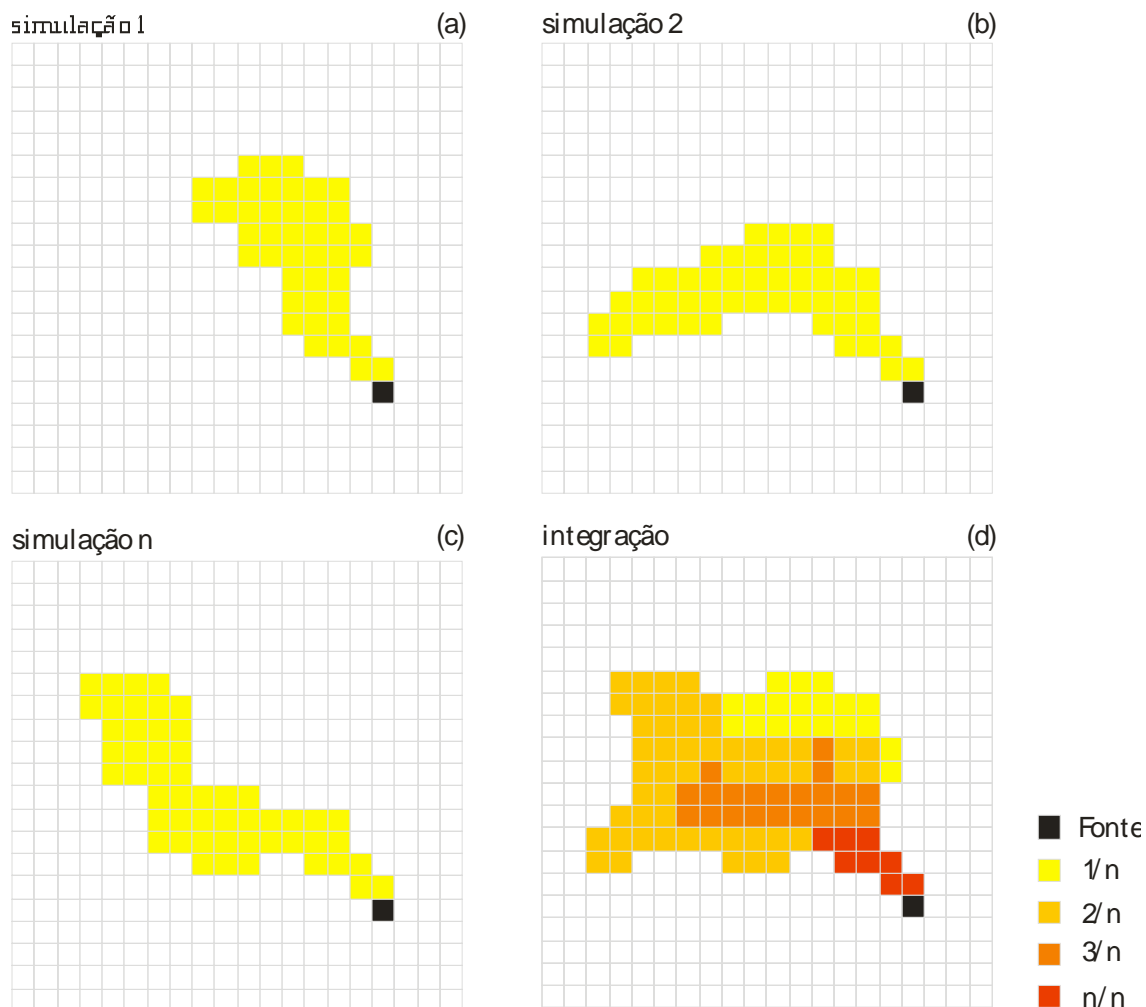


Figura 3: Representação esquemática do cálculo da probabilidade de presença de constituinte no STROLL.

Além da probabilidade de presença do constituinte, o módulo probabilístico do STROLL fornece também os tempos de chegada da mancha em cada ponto de grade do domínio, em cada simulação.

III. CARACTERÍSTICAS DA SIMULAÇÃO

As simulações foram realizadas considerando um evento de *blow-out* com vazamento contínuo por 30 dias (720 horas) em 2 (dois) cenários sazonais, verão e inverno. Após a disponibilização do óleo na água, o comportamento de sua deriva foi acompanhado por 30 dias. Portanto ao final das simulações foram totalizados 60 dias (1440 horas).

Além da simulação de *blow-out*, na qual é considerado o volume de pior caso (15.120 m³), foram ainda realizadas simulações para vazamentos de pequeno e médio volume, 8 m³ e 200 m³, respectivamente. Nesses casos as simulações duraram 30 dias.

Em todas as simulações considerou-se como critério de existência de óleo espessuras maiores ou iguais ao limiar de 3×10^{-7} metros (limiar de detecção) (ELPN/IBAMA, 2002).

A seguir, nas Tabelas 1 e 2, serão apresentadas as características do óleo e do vazamento.

Tabela 1: Características do óleo utilizadas na simulação.

Parâmetro	Valor	Unidade	Temperatura
API	20		
Densidade	0,9335	g/cm ³	15° C
Viscosidade	3,6	Cp	68° C

Tabela 2: Local do Vazamento.

Longitude	41° 06' 48,55" W
Latitude	23° 01' 15,02" S

A seguir serão apresentadas as forçantes utilizadas durante a simulação probabilística.

IV. FORÇANTES

Os dados de vento utilizados são provenientes das reanálises do NCEP – *National Centers for Environmental Prediction* – (Kalnay *et al.*, 1996). Essa base consiste em uma série de dados meteorológicos, com aproximadamente 1,8° de resolução espacial na região do estudo. Os dados disponíveis no NCEP cobrem todo o globo e estão disponíveis gratuitamente na internet (<http://www.ncep.noaa.gov>).

Para este estudo foram tratados 59 anos de dados (1948 a 2006) com uma frequência temporal de 6 horas (4 dados por dia).

A seguir, são apresentadas as rosas dos ventos, elaboradas para o período analisado, na região do Bloco BM-C-39 (Figura 4 e Figura 5).

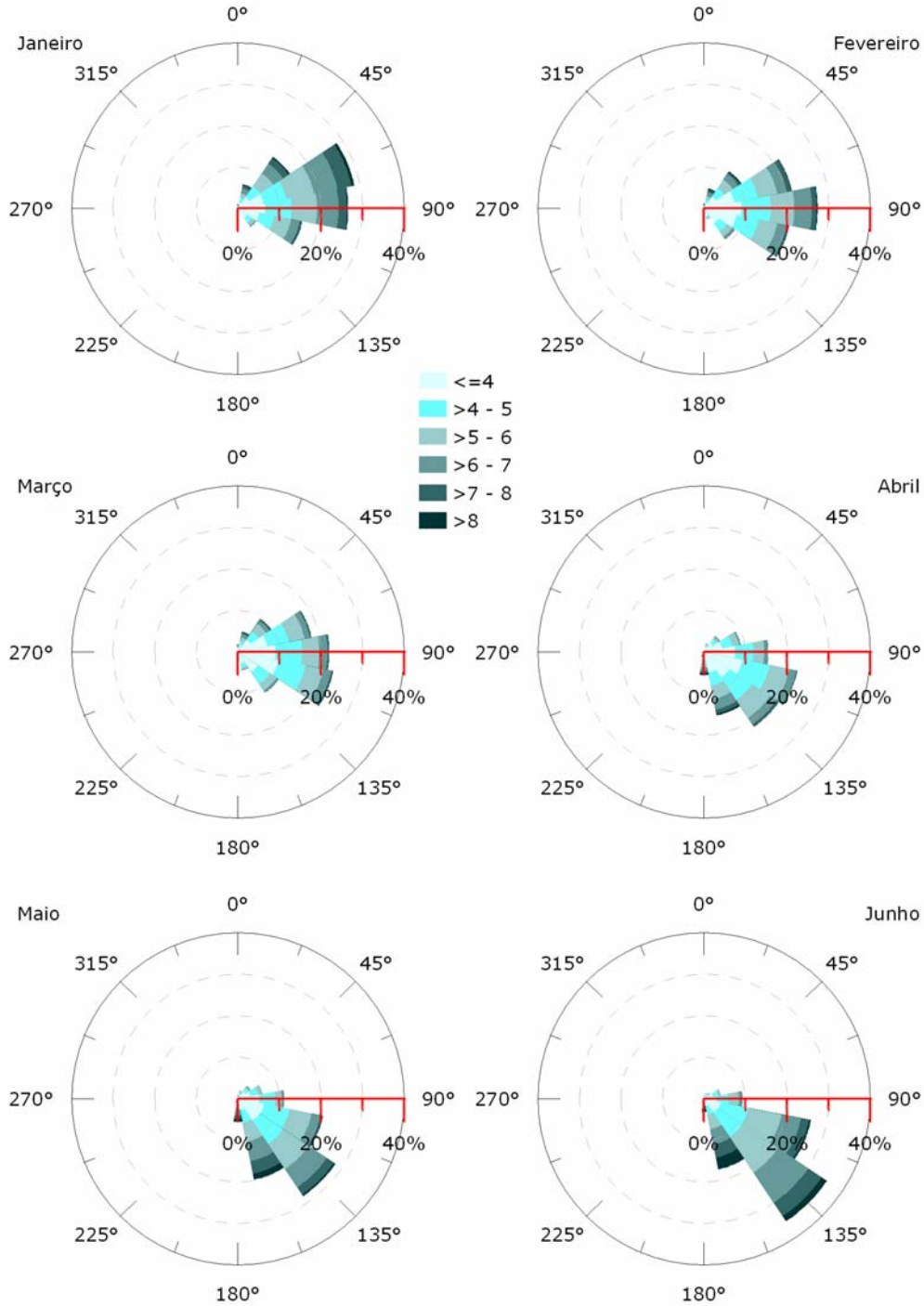


Figura 4: Rosa dos ventos para o período entre janeiro e junho na região do Bloco BM-C-39.

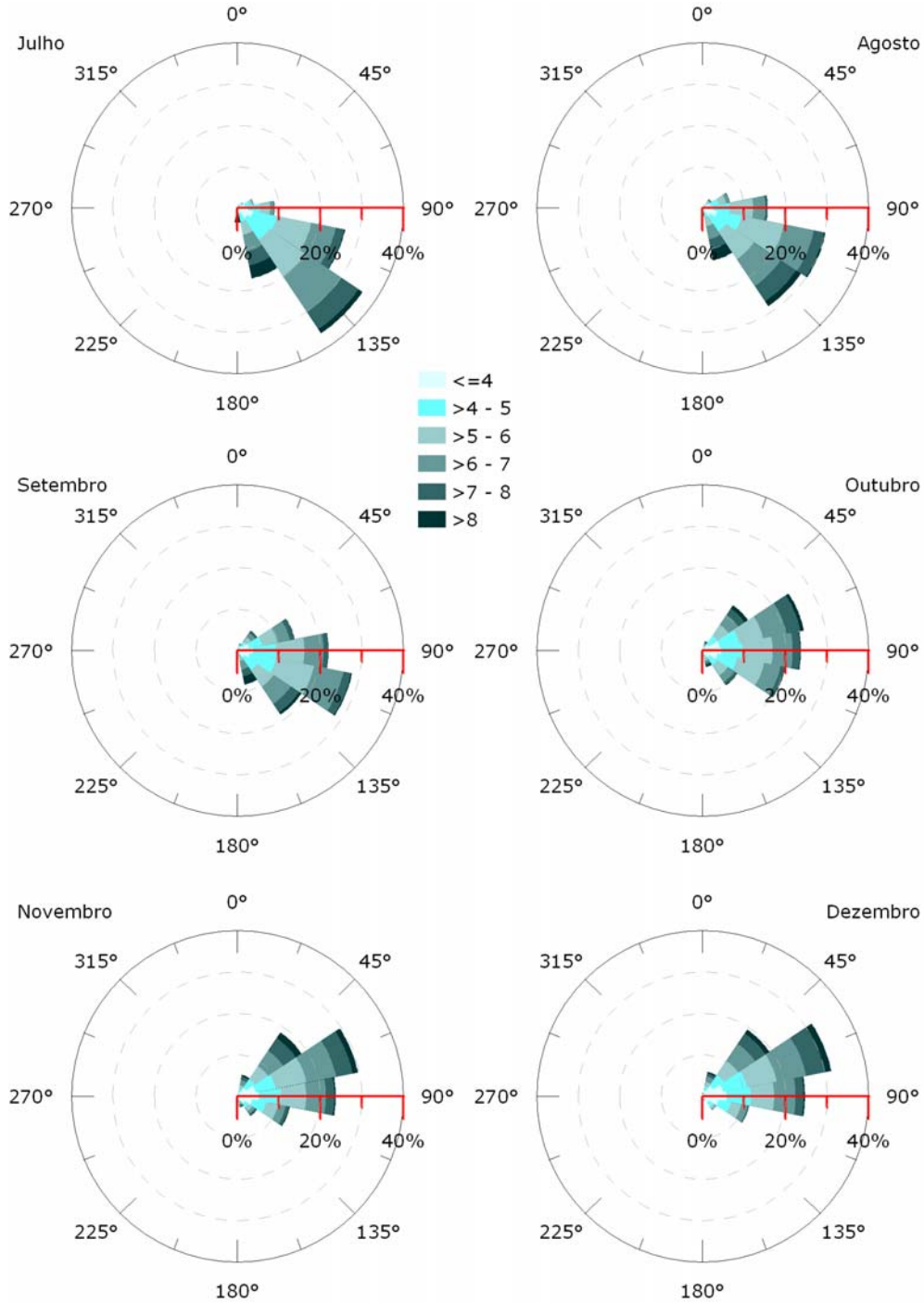


Figura 5: Rosa dos ventos para o período entre julho e dezembro na região do Bloco BM-C-39.

A análise mensal dos dados de vento possibilitou a caracterização de dois períodos bem marcados, com condições de inverno e verão, como pode ser observado na Figura 4 e na Figura 5.

O período que se estende de outubro a fevereiro é marcado por condições de verão. Neste período são observados ventos intensos e freqüentes do octante NE-E, com os meses de novembro e dezembro apresentando maiores persistências dos ventos de NE. Também são observados ventos no quadrante E-SE, porém esses são menos intensos e freqüentes.

O período caracterizado como sendo de inverno estende-se de março a setembro e apresenta ventos intensos e freqüentes com direções E-SE, destacando-se os meses de junho e julho como os ventos mais intensos.

Os dados de correntes utilizados foram obtidos da base de dados da PROOCEANO. Nesse estudo foi analisada uma série temporal de 1 ano de dados, sendo utilizado na modelagem um período de 6 meses, característicos para cada situação sazonal.

Uma descrição detalhada dos mesmos encontra-se no Relatório de Modelagem Hidrodinâmica, onde é descrita a dinâmica oceânica dessa região.

IV.1. Variabilidade Ambiental

Com o objetivo de avaliar a variabilidade das escalas temporais transientes presentes nos dados de ventos analisados e utilizados nesse trabalho, foi realizada uma análise de zeros ascendentes (*zero-up-crossing*). Essa análise consiste na identificação dos momentos ao longo de toda série onde as componentes do vento trocam de sinal (de negativo para positivo). Os resultados podem ser observados na Figura 6.

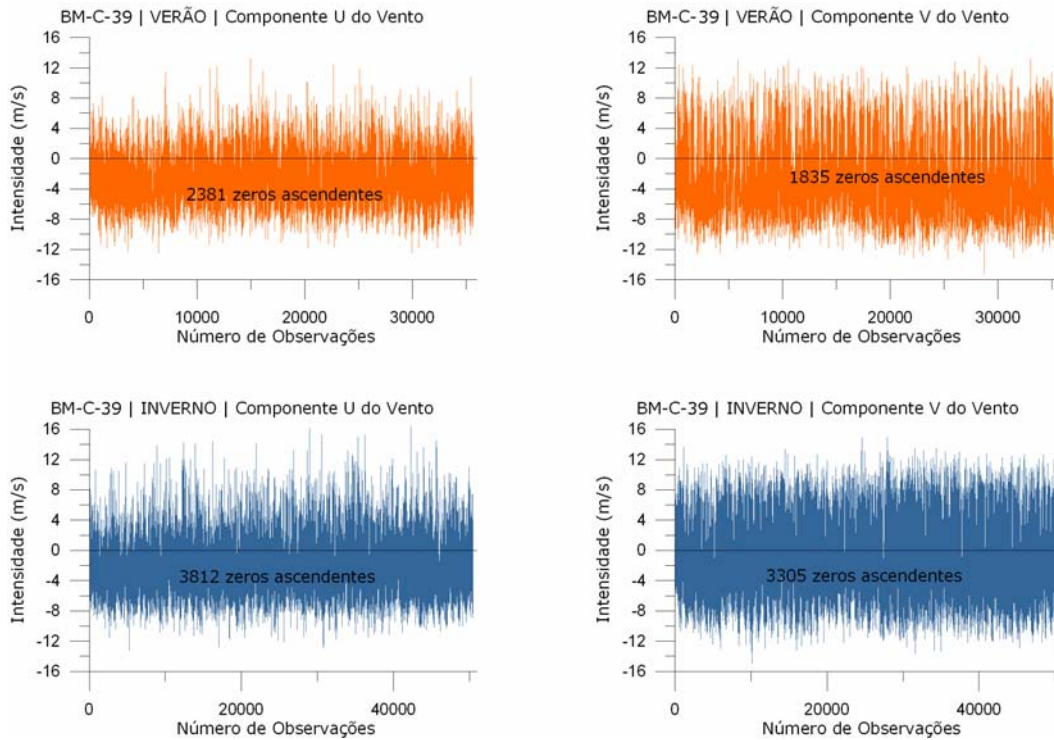


Figura 6: Séries temporais das componentes “u” e “v”, do vento, para a região do bloco BM-C-39, com o número de zeros ascendentes presentes nas séries. Fonte: Reanálise NCEP.

Podemos observar que no cenário de inverno o número de zeros ascendentes, nas duas componentes “u” e “v”, foram maiores que no cenário de verão.

Considerando que o intervalo entre as medições é de 6 horas, chegamos a uma escala mínima de variabilidade significativa de aproximadamente 5 dias para o cenário de verão e 4 dias para o cenário de inverno.

Assim, para uma correta representação dessa variabilidade na modelagem probabilística de óleo, seguindo a metodologia proposta por Elliott (2004), o número mínimo de simulações aconselhável, para o cenário de verão seria de 2.381 simulações e para o cenário de inverno 3.812 simulações.

Para garantir a compreensão da variabilidade presente, de forma conservadora foram realizadas 3.800 simulações para cada período (inverno e verão).

V. RESULTADOS

A seguir serão apresentados os mapas de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada para as simulações de vazamentos de 8, 200 e 15.120 m³, para os cenários de verão e inverno.

Para a obtenção destes resultados foram realizadas 3.800 diferentes simulações para cada cenário (verão e inverno) nos diferentes volumes de vazamento 8, 200 e 15.120 m³, totalizando 22.800 possíveis cenários ambientais de vazamento.

O cenário de pior caso, para ser simulado no modo determinístico, será definido através da análise dos resultados sazonais, sendo escolhida a situação onde o óleo atinja a costa no menor período de tempo possível após o início do vazamento.

O intemperismo do óleo será apresentado ao final do estudo, através de gráficos que apresentam o balanço de massa do constituinte, ao longo da simulação.

V.1. Modo Probabilístico

V.1.1. Vazamento de 8m³

V.1.1.1. Verão

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo para o vazamento de 8 m³ no cenário de verão é apresentado na Figura 7, enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 8.

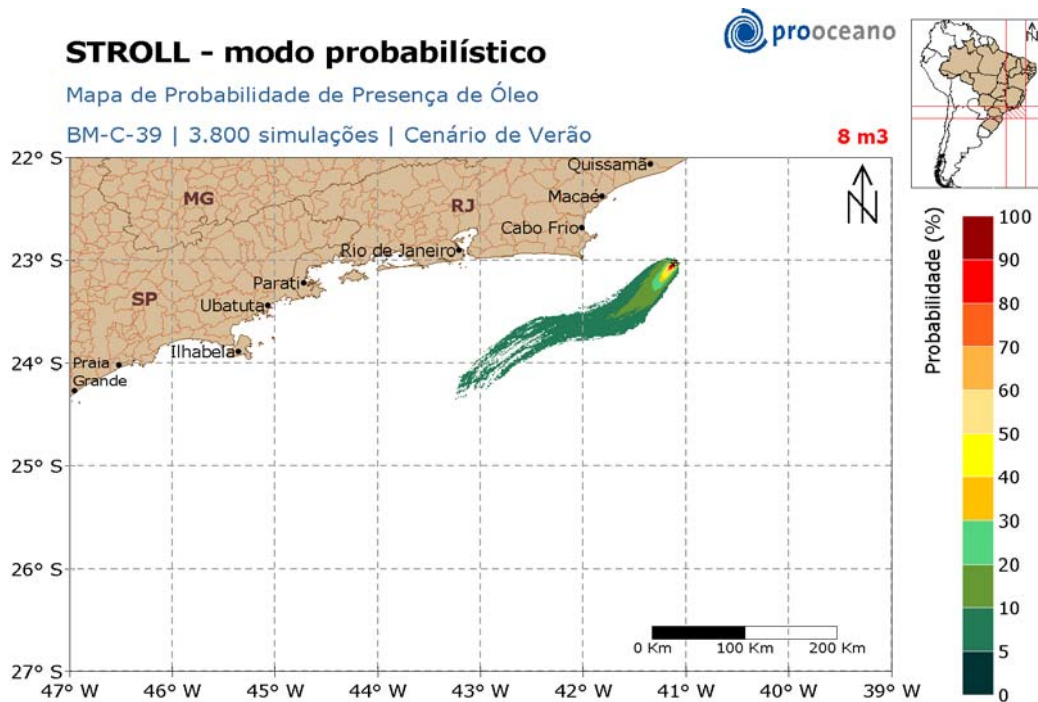


Figura 7: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 8 m³, no cenário de verão.

Neste cenário a deriva do óleo ocorre preferencialmente para sudoeste do poço.

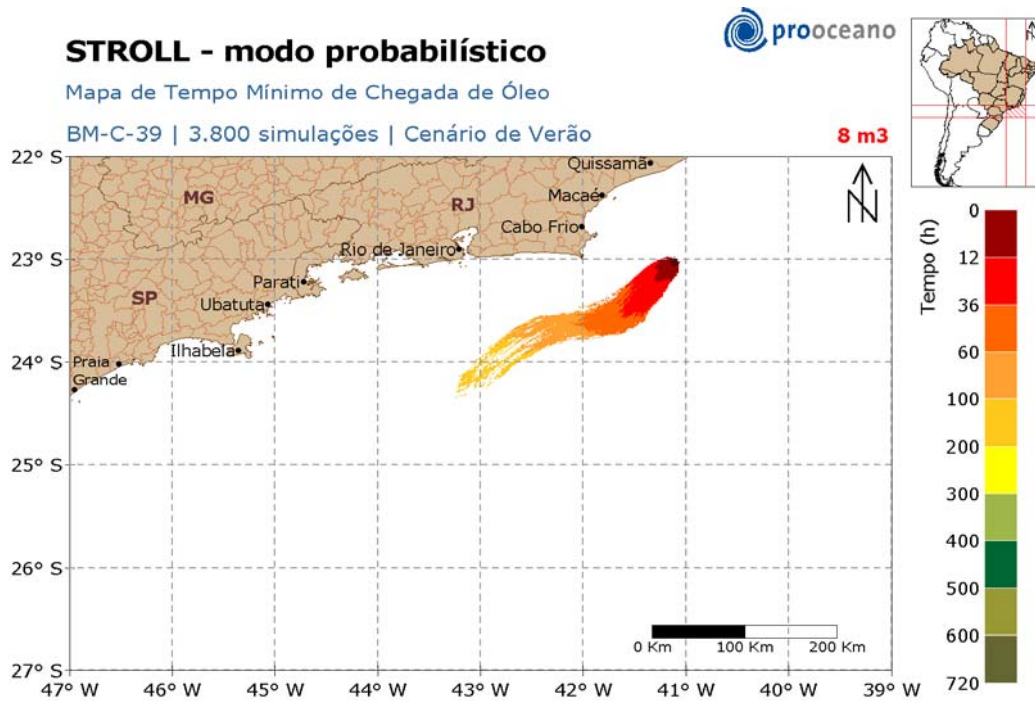


Figura 8: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo, para vazamento de 8 m³, no cenário de verão.

Observa-se que após 100-200 horas do início do vazamento todo o Mapa de Probabilidade é atingido.

V.1.1.2. Inverno

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo para o vazamento de 8 m³ no cenário de inverno encontra-se na Figura 9 enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 10.

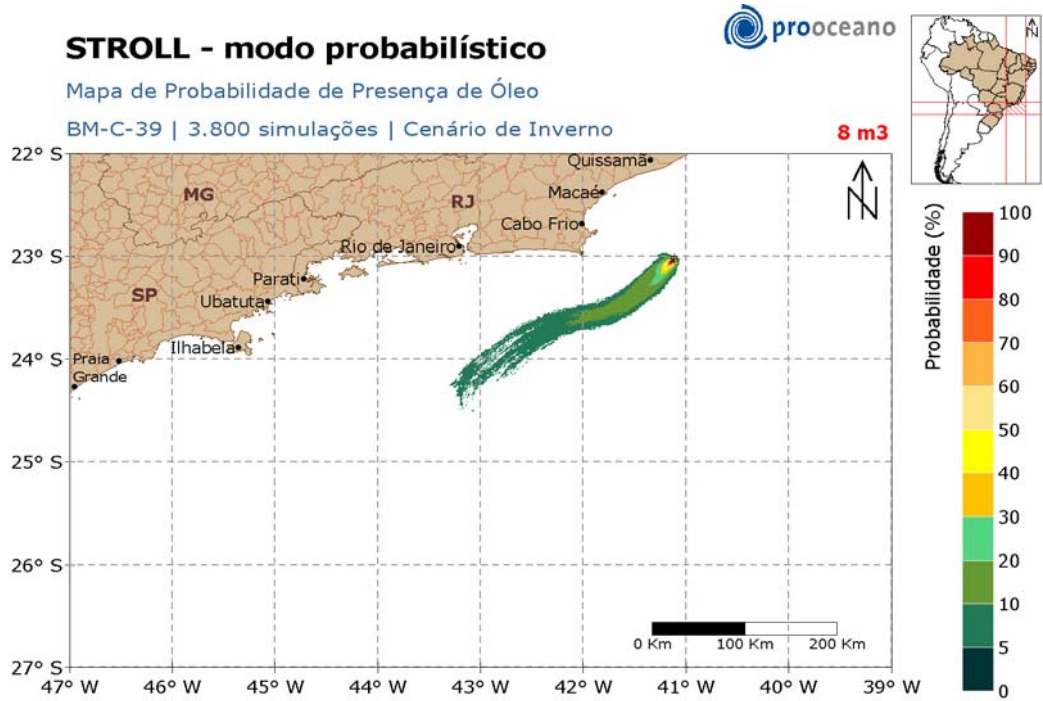


Figura 9: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 8 m³, no cenário de inverno.

No cenário de inverno, ocorre o mesmo que no cenário de verão, a deriva do óleo é preferencial para sudoeste do poço.

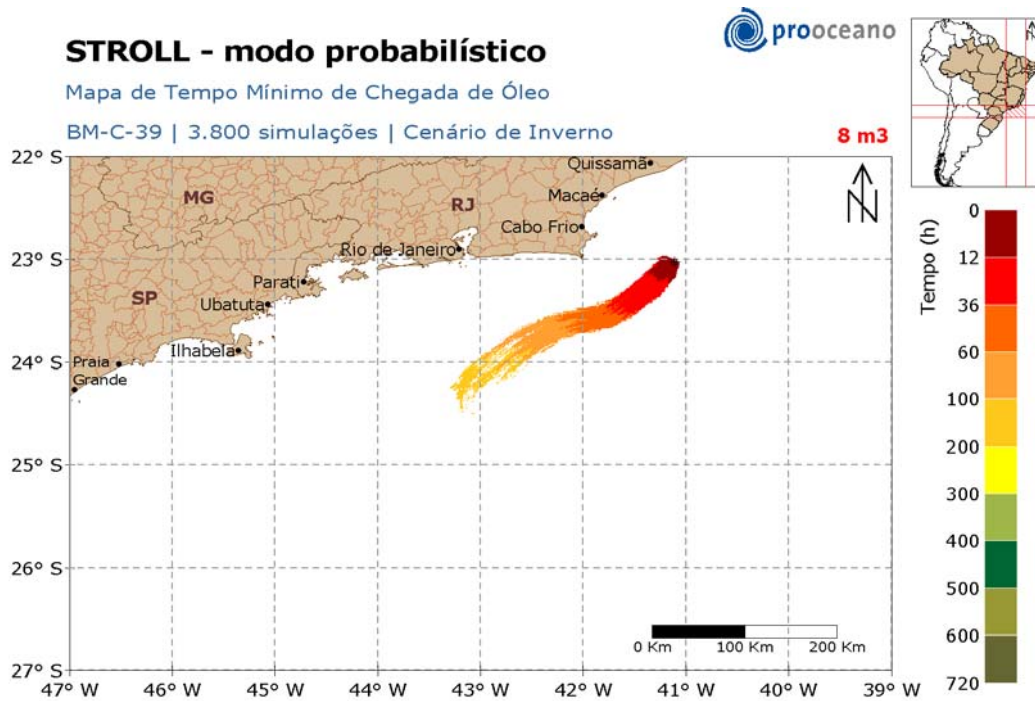


Figura 10: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo, para vazamento de 8 m³, no cenário de inverno.

Observa-se que o Mapa de Probabilidade é atingido em sua totalidade em 100-200 horas após o início do vazamento.

V.1.2. Vazamento de 200m³

V.1.2.1. Verão

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo para o vazamento de médio porte (200 m³), no cenário de verão, encontra-se na Figura 11 enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 12.

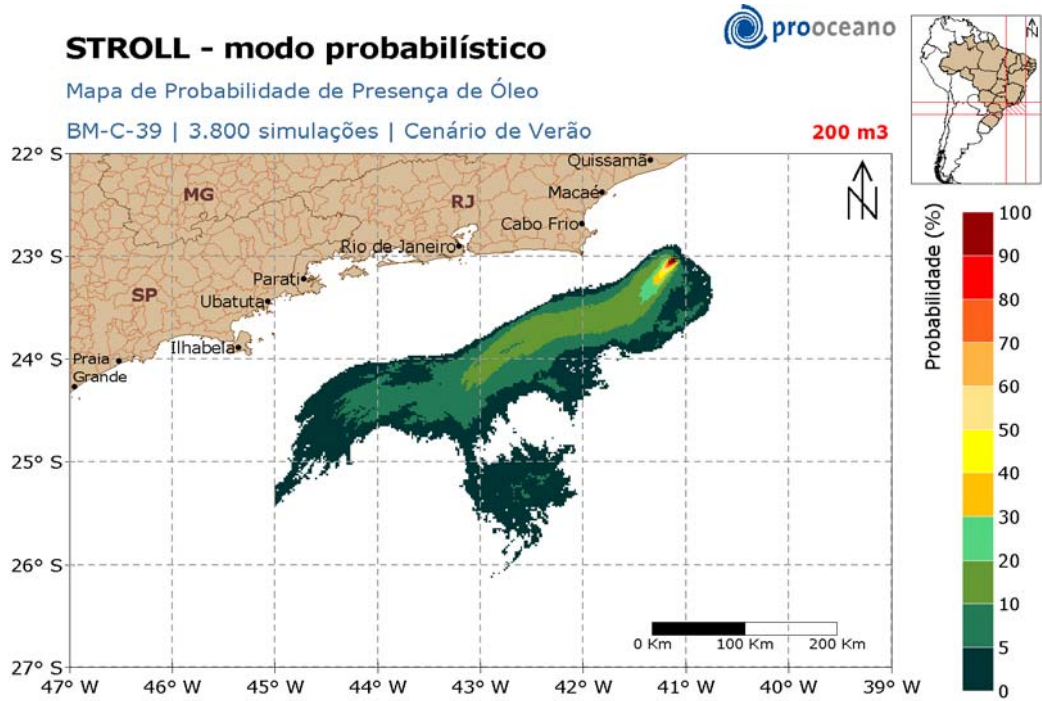


Figura 11: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 200 m³, no cenário de verão.

Podemos observar no Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo, que a deriva do óleo é preferencial para sudoeste do poço, atingindo a longitude de 45°W.

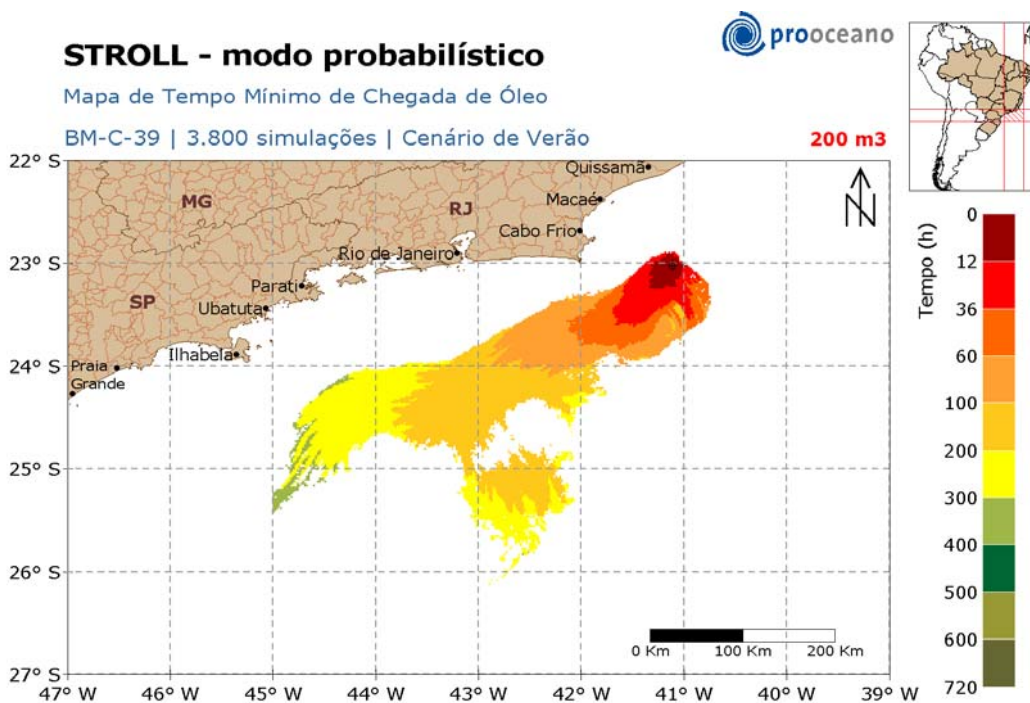


Figura 12: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo, para vazamento de 200 m³, no cenário de verão.

Observa-se na Figura 12 que o Mapa de Tempo Mínimo de Chegada do Óleo foi atingido em sua totalidade de 300-400 horas após o início da simulação.

V.1.2.2. Inverno

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo para o vazamento de 200 m³ no cenário de inverno encontra-se na Figura 13 enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 14.

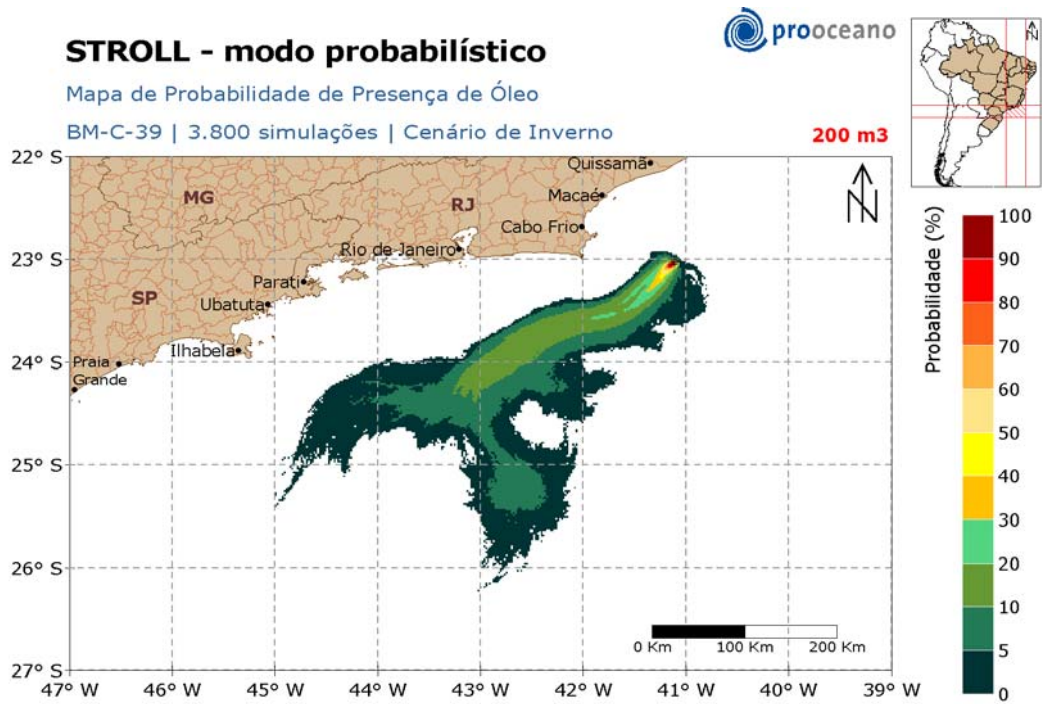


Figura 13: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 200 m³, no cenário de inverno.

Assim como no cenário de verão, no inverno a deriva do óleo também foi preferencial para sudoeste do poço.

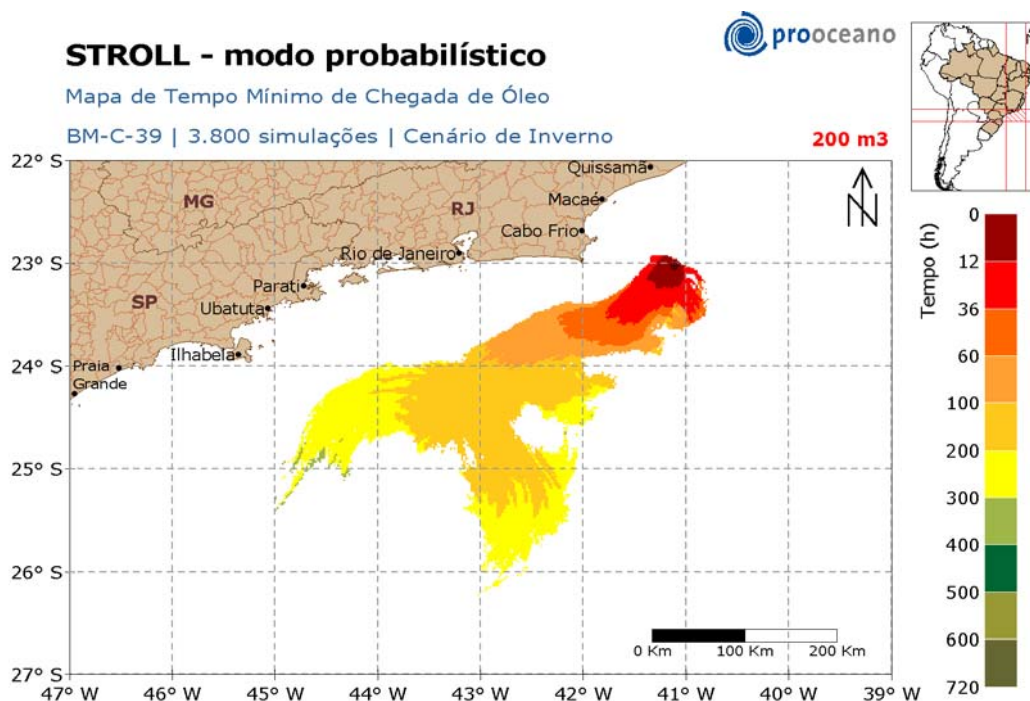


Figura 14: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo, para vazamento de 200 m³, no cenário de inverno.

Nesse cenário todo o Mapa de Tempo Mínimo de Chegada também foi atingido entre 300-400 horas.

V.1.3. Blow-out

A seguir serão apresentados os resultados obtidos nas simulações probabilísticas de *blow-out*. Para esses cenários foi considerado um vazamento contínuo durante 30 (trinta) dias. O tempo simulado abrange os 30 dias de vazamento e mais 30 dias após o término do mesmo, totalizando 60 dias de simulação.

Nas figuras apresentadas foi delimitado o domínio do modelo utilizado para a realização das simulações nos cenários de verão e inverno.

V.1.3.1. Verão

O Mapa de Probabilidade e o Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo para um cenário de *blow-out* com volume vazado de 15.120 m³, no período de verão são apresentados na Figura 15 a Figura 18.

STROLL - modo probabilístico



Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-39 | Cenário de Verão

15.120 m3

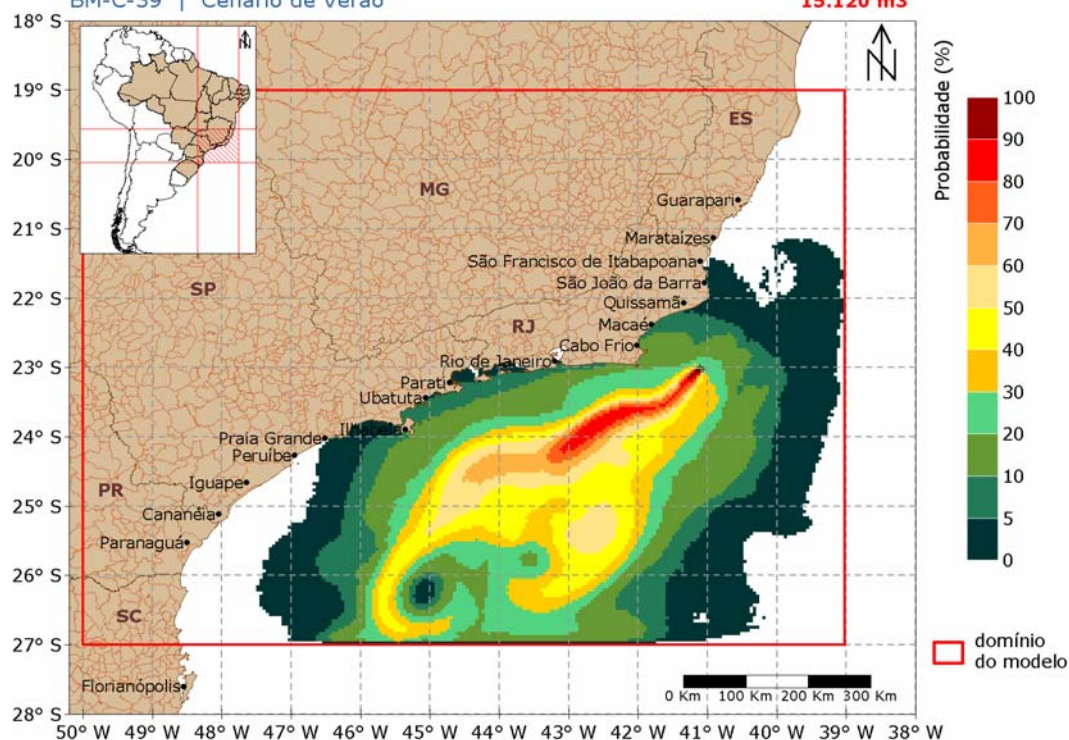


Figura 15: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de verão.

A deriva do óleo ocorre preferencialmente para sudoeste do poço, porém também há deriva rumo a norte/nordeste. O toque na costa ocorre de São Francisco do Itabapoana no Estado do Rio de Janeiro até Praia Grande no Estado de São Paulo. A região da costa com maior probabilidade de presença de óleo, 20-10%, estendeu-se de Cabo Frio – RJ a Saquarema - RJ, além da Ilhabela no Estado de São Paulo.

STROLL - modo probabilístico



Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-39 | Cenário de Verão

15.120 m3

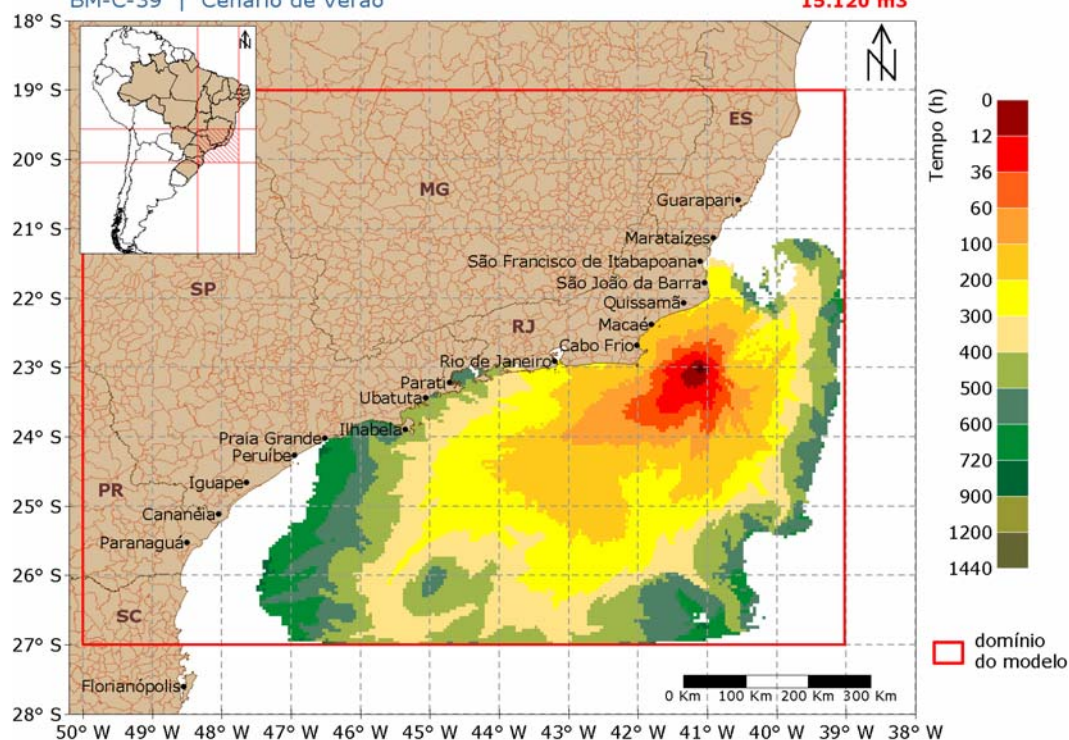


Figura 16: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de verão.

O tempo mínimo de toque na costa, nesse cenário, ocorre entre 100-200 horas nos municípios de Quissamã - RJ à Niterói – RJ. O Estado de São Paulo é atingido em 400-500 horas após o início do vazamento.

STROLL - modo probabilístico

Volume Máximo de Óleo na Costa

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-39 | Cenário de Verão

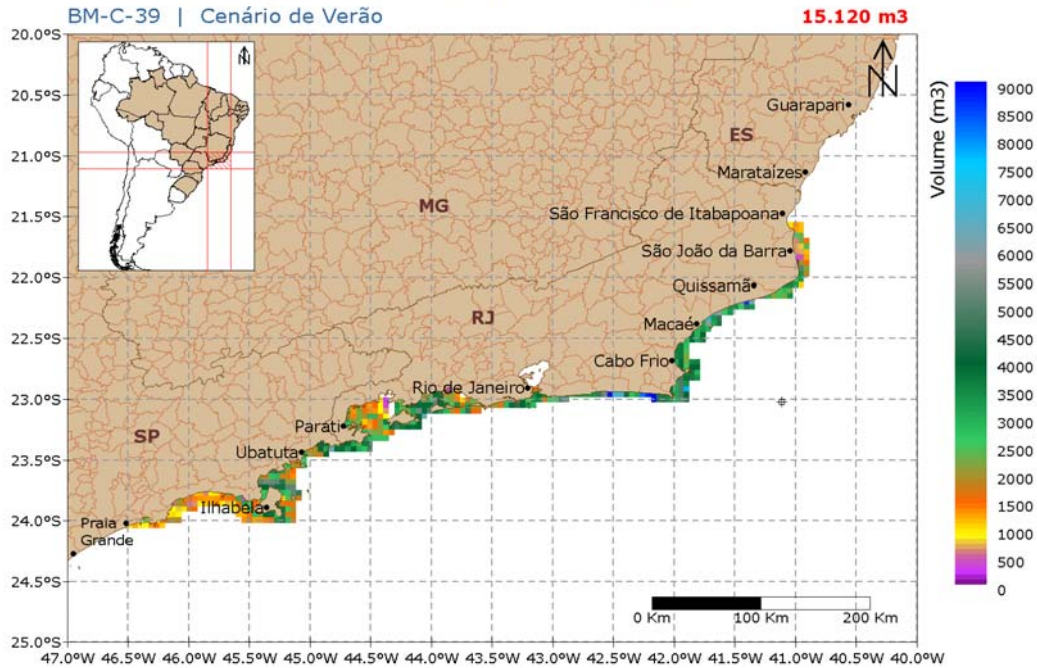


Figura 17: Volume máximo de óleo na costa, após as simulações de 60 dias no cenário de verão.

Ao analisarmos o volume máximo de óleo que atinge a costa, observamos que as áreas que apresentaram os maiores volumes (aproximadamente 9000 m³) situam-se entre Arraial do Cabo e Saquarema - RJ. Essa região é uma das que tiveram o menor tempo mínimo de chegada de óleo. As regiões com menor volume máximo encontram-se no limite sul do mapa de probabilidade.

Para uma melhor análise dos tempos de chegada de óleo na costa, foram gerados histogramas com as freqüências de ocorrência das classes de tempo e fração de massa na costa para toda a simulação probabilística (Figura 18). O gráfico de probabilidade com os histogramas de tempo de chegada facilita a análise conjunta dos resultados.

STROLL - Modo Probabilístico



Histograma de Tempo de Chegada

BM-C-39 | Cenário de Verão

15.120 m³

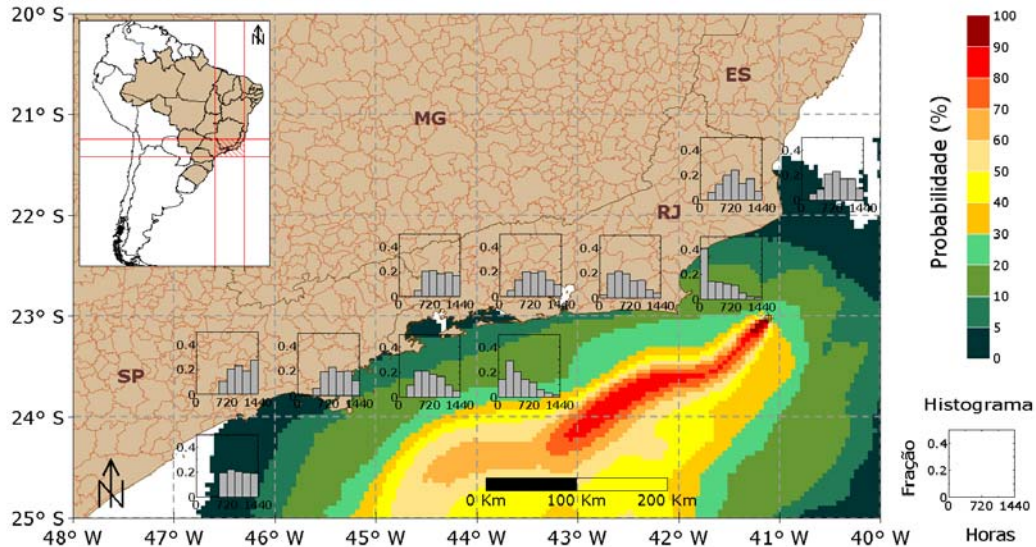


Figura 18: Histogramas de tempo de chegada de óleo próximo à costa no cenário de verão.

Os histogramas de tempo de chegada, no cenário de verão, mostram que nas regiões mais próximas ao local de vazamento os tempos de chegada são antes da metade da simulação (720h). Seguindo para sudoeste e oeste do poço, os tempos de chegada aumentam progressivamente.

V.1.3.2. Inverno

A seguir, nas Figura 19 a Figura 22, serão apresentados os resultados obtidos no período de inverno para um cenário de *blow-out*, volume vazado de 15.120 m³.

STROLL - modo probabilístico



Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-39 | Cenário de Inverno

15.120 m3

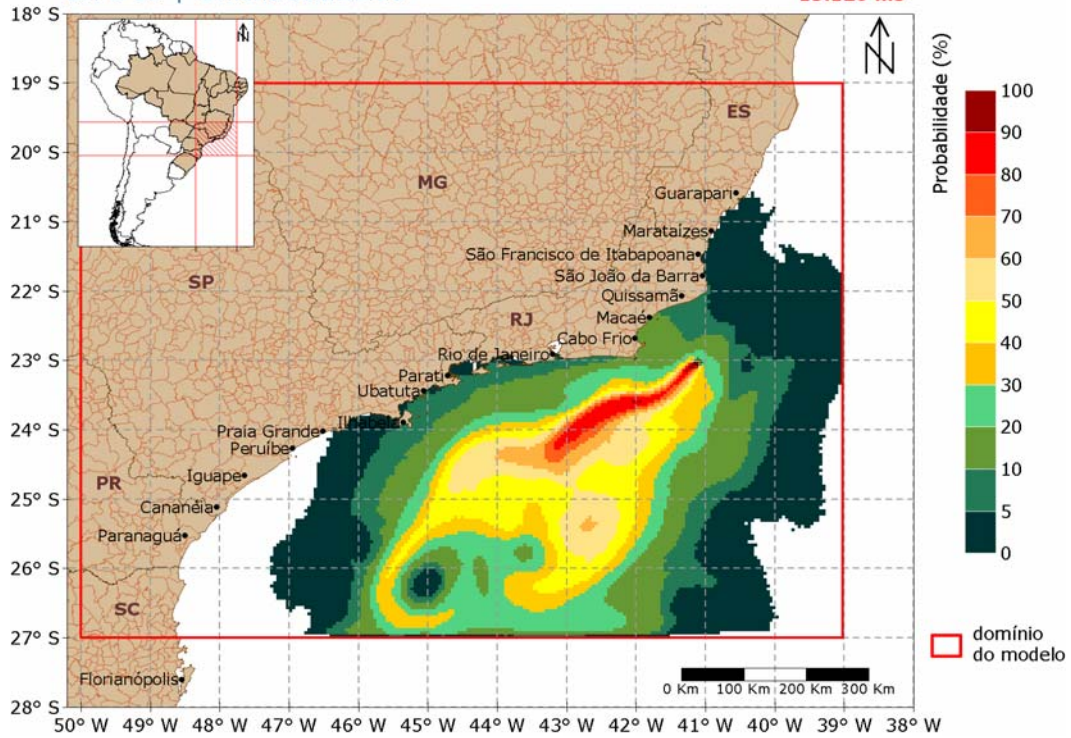


Figura 19: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de inverno.

Nesse cenário a deriva do óleo na direção norte/nordeste foi maior que o observado no cenário de verão, e conseqüentemente a extensão de costa com probabilidade de presença de óleo também foi maior, estendendo-se de Guarapari no Espírito Santo à Praia Grande, no Estado de São Paulo. A região com maior probabilidade de presença de óleo localiza-se entre Macaé e Arraial do Cabo – RJ, 20-10%. O Espírito Santo tem probabilidade de presença entre 5-0% e São Paulo entre 10-0%.

STROLL - modo probabilístico



Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-39 | Cenário de Inverno

15.120 m³

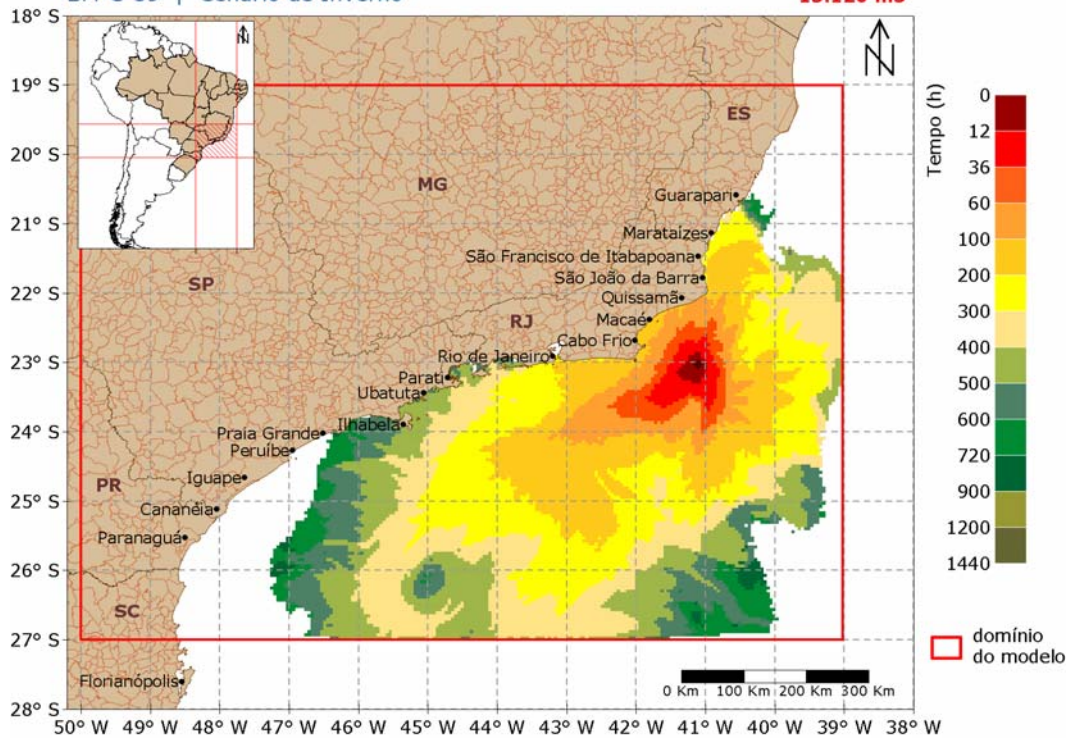


Figura 20: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de óleo, para vazamento de 15.120 m³, no cenário de inverno.

No cenário de inverno o tempo mínimo de chegada de óleo é menor, 60-100 horas, na região do município de Arraial do Cabo - RJ. O Espírito Santo é atingido entre 200-300 horas. São Paulo, entre 400-500 horas, tem probabilidade de apresentar óleo em sua costa.

Observa-se que algumas trajetórias são cortadas na fronteira oeste (canto inferior esquerdo do domínio do modelo) e na fronteira sul. As trajetórias que são cortadas na fronteira sul são irrelevantes para regiões de toque na costa, uma vez que dirigem-se para regiões *off-shore*. As trajetórias que são cortadas na fronteira oeste, por sua vez, poderiam, atingir a região costeira do Estado do Paraná e Santa Catarina.

No entanto é importante ressaltar que a probabilidade de presença de óleo observada nessa região do mapa restringe-se ao intervalo entre 5-0%, em ambos os cenários.

Outro aspecto importante a ser ressaltado é o fato de que o aumento significativo dos domínios espaciais modelados, em função do tempo de deriva do óleo (60 dias), faz com que haja um grande aumento no esforço computacional envolvido na correta solução do modelo. Esse esforço (a saber: memória RAM, tempo computacional e manipulação dos arquivos gerados) aumenta, no mínimo, exponencialmente, com o aumento do tamanho da grade. Em contrapartida, uma redução na resolução espacial que diminuiria o esforço

computacional faz com que importantes processos, principalmente os que ocorrem próximos ao local de vazamento, não sejam corretamente representados.

Para minimizar esse problema potencial, na escolha do domínio do modelo em questão, foi realizada uma ponderação de perdas e ganhos, em termos de resolução espacial e consequente melhor representação da comportamento do óleo nas regiões adjacentes ao local de vazamento, bem como de sua deriva e seu alcance, após os 60 dias de simulação.

Diante do exposto, acredita-se que embora algumas trajetórias do óleo tenham sido cortadas, o uso do resultado final da modelagem apresentada, como base para tomada de decisões em outros itens do estudo, não é, de forma alguma, comprometido.

STROLL - modo probabilístico



Volume Máximo de Óleo na Costa

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-39 | Cenário de Inverno

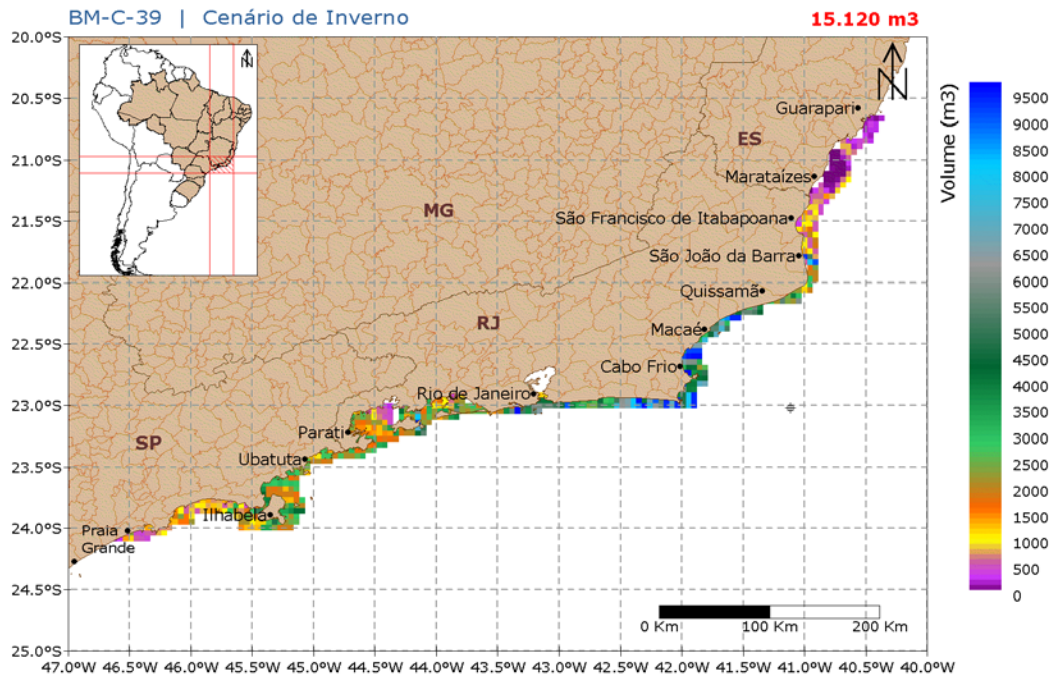


Figura 21: Volume máximo de óleo na costa no cenário de inverno.

A região da costa do Estado do Rio de Janeiro é a que apresenta os maiores valores de volume máximo de óleo (aproximadamente 9500 m³). Essa área tem o menor tempo mínimo de chegada do óleo. No limite norte do Mapa de Probabilidade, no Estado do Espírito Santo, são encontrados os menores valores máximos.

Para uma melhor análise dos tempos de chegada de óleo na costa, foram gerados histogramas com as frequências de ocorrência das classes de tempo e fração de massa na costa para toda a simulação probabilística (Figura 22).

STROLL - Modo Probabilístico

Histograma de Tempo de Chegada
 BM-C-39 | Cenário de Inverno

15.120 m³

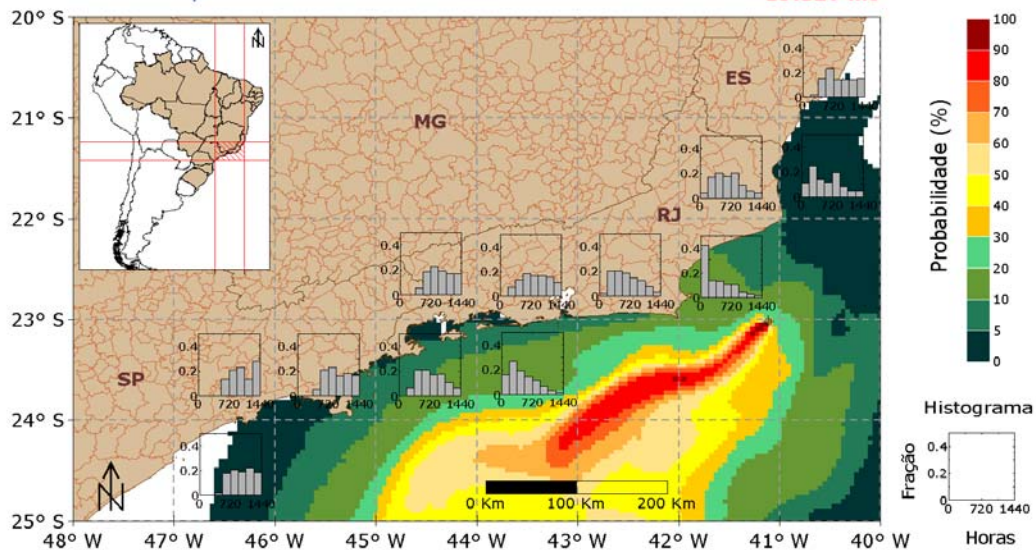


Figura 22: Histogramas de tempo de chegada de óleo próximo à costa no cenário de inverno.

No cenário de inverno observa-se um resultado semelhante ao cenário de verão, com o tempo de chega aumentando em relação à distância do local de vazamento.

A seguir, na Tabela 3, serão apresentados os volumes máximos, às classes de probabilidade e tempo mínimo de chegada de óleo de cada município com possibilidade de serem atingidos pelo óleo em um evento de *blow-out*.

Tabela 3: Volume máximo, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de presença de óleo em um evento de *blow-out* nos cenários de verão e inverno.

	MUNICÍPIOS	Volume Máximo (m ³)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo de Toque (h)	
		VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO
Espírito Santo	Guarapari	-	190	-	5-0	-	300-400
	Anchieta	-	733	-	5-0	-	200-300
	Piúma	-	733	-	5-0	-	200-300
	Itapemirim	-	50	-	5-0	-	200-300
	Marataízes	-	57	-	5-0	-	200-300
	Presidente Kennedy	-	514	-	5-0	-	200-300
Rio de Janeiro	São Francisco de Itabapoana	1354	1460	5-0	5-0	200-300	200-300
	São João da Barra	5150	9389	5-0	10-5	200-300	100-200
	Campos dos Goytacazes	5150	5939	5-0	10-5	200-300	60-100
	Quissamã	8728	5893	10-5	10-5	100-200	60-100
	Carapebus	6835	8747	10-5	10-5	100-200	60-100
	Macaé	7287	5551	10-5	20-10	100-200	100-200
	Rio das Ostras	3943	9219	10-5	20-10	100-200	100-200
	Casimiro de Abreu	5714	9283	10-5	20-10	100-200	100-200
	Armação dos Búzios	4360	9800	20-10	20-10	100-200	100-200
	Cabo Frio	4162	9800	20-10	20-10	100-200	100-200
	Arraial do Cabo	9128	9500	20-10	20-10	100-200	100-200
	Araruama	3200	9643	20-10	10-5	100-200	100-200
	Saquarema	8987	8140	20-10	10-5	100-200	100-200
	Maricá	7146	9142	10-5	10-5	100-200	100-200
	Niterói	3971	6814	10-5	10-5	100-200	100-200
	Rio de Janeiro	6602	9664	10-5	10-5	200-300	100-200
	Itaguaí	1982	2067	5-0	5-0	400-500	500-600
	Mangaratiba	4374	3223	5-0	10-5	300-400	300-400
	Angra dos Reis	4289	4176	5-0	5-0	400-500	400-500
	Ilha Grande (Angra dos Reis)	5354	9508	10-5	10-5	300-400	300-400
Parati	4176	2701	10-5	10-5	400-500	300-400	
São Paulo	Ubatuba	6398	3372	10-5	10-5	400-500	400-500
	Caraguatatuba	5163	5058	10-5	10-5	400-500	400-500
	Ilhabela	4705	5058	20-10	10-5	400-500	400-500
	São Sebastião	3929	5058	10-5	10-5	400-500	400-500
	Bertioga	2243	1516	5-0	5-0	500-600	500-600
	Guarujá	1855	1904	5-0	5-0	500-600	600-720
	Santos	1290	1234	5-0	5-0	600-720	600-720
	São Vicente	2384	1410	5-0	5-0	600-720	720-900
	Praia Grande	2384	2335	5-0	5-0	600-720	720-900

V.2. Modo Determinístico

Com base nos resultados obtidos nas simulações probabilísticas foi identificado o cenário de pior caso para ocorrência de um evento de *blow-out* decorrente da atividade de perfuração no bloco BM-C-39. O cenário que apresentou o menor tempo mínimo de toque na costa foi o de inverno, este ocorre entre 60-100 horas, portanto será apresentada uma trajetória de pior caso ocorrida no cenário de inverno.

Na Figura 23 à Figura 36 são apresentados instantâneos com os resultados da simulação da dispersão de óleo realizada para a situação escolhida. São também mostrados nas figuras os campos de vento e correntes que transportaram o óleo nesse cenário.

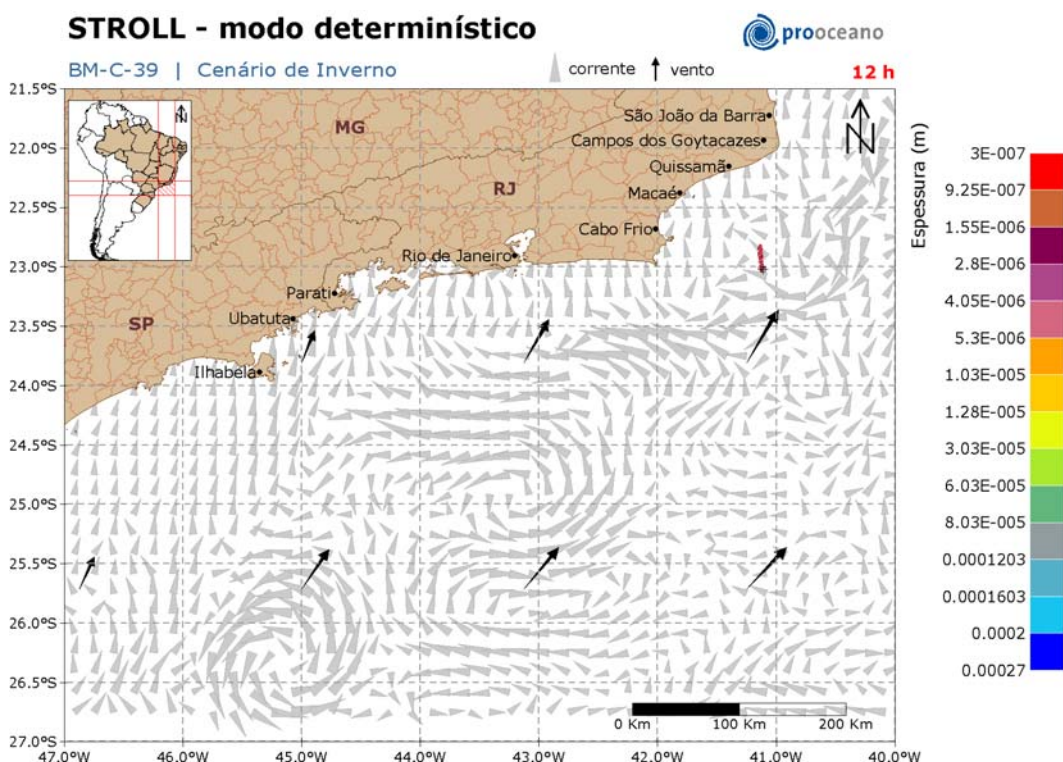


Figura 23: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 12 horas de simulação.

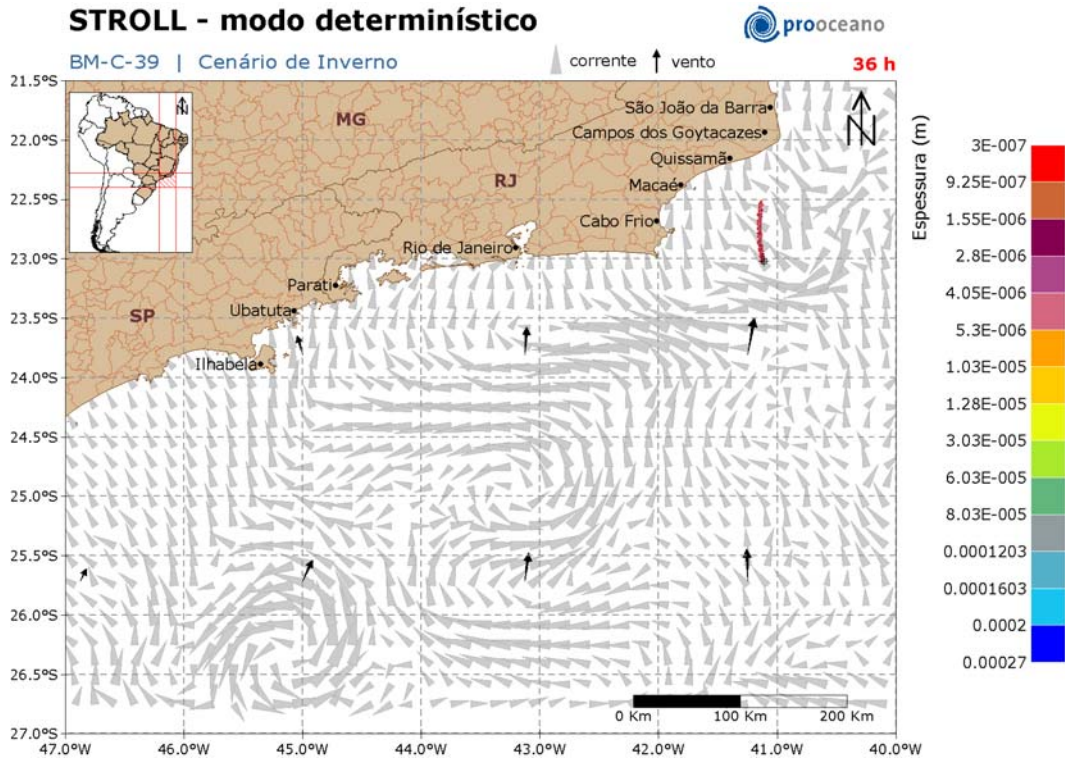


Figura 24: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 36 horas de simulação.

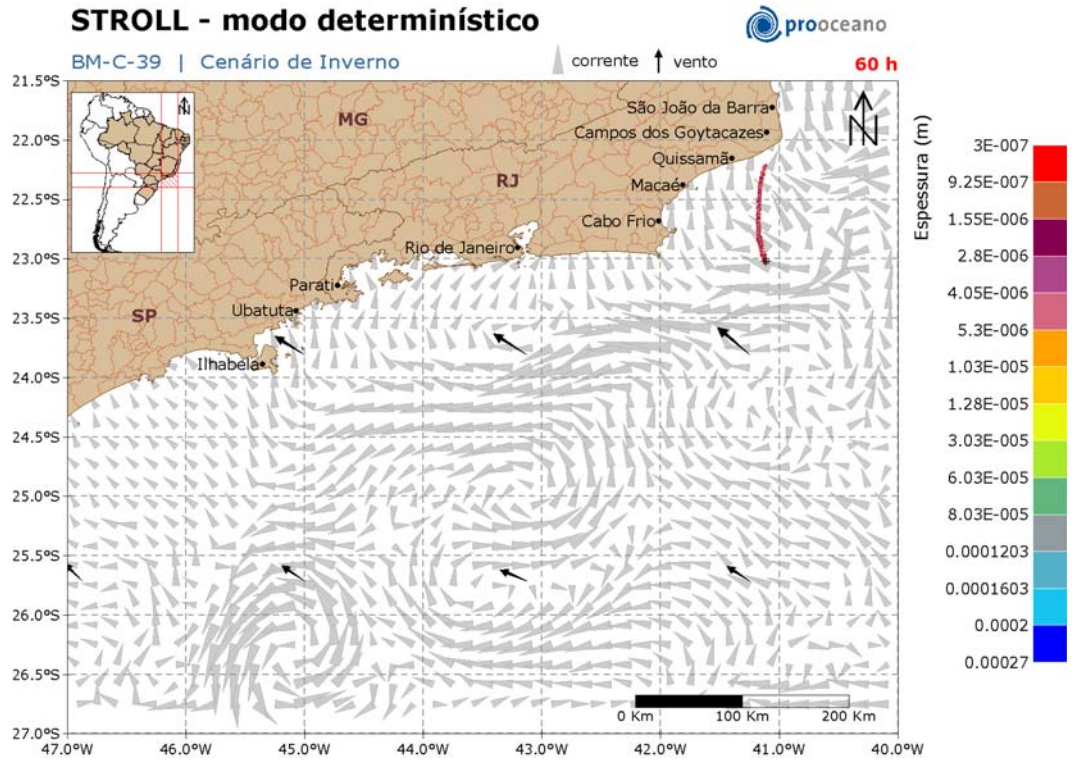


Figura 25: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 60 horas de simulação.

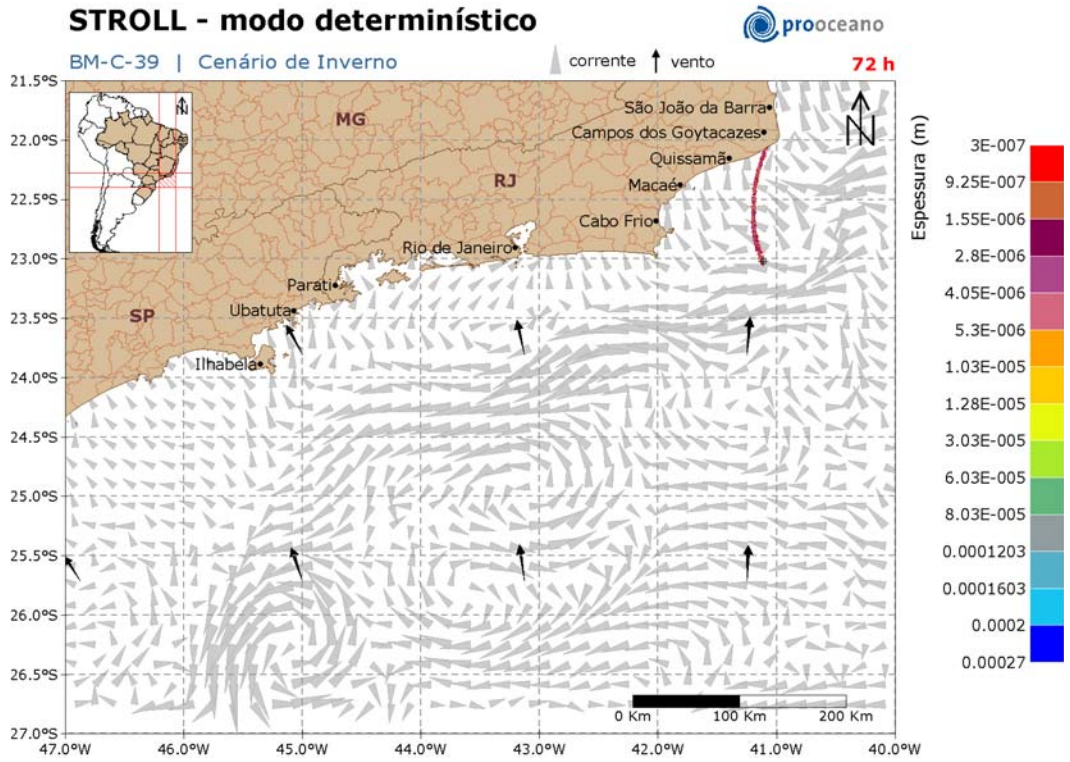


Figura 26: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 72 horas de simulação.

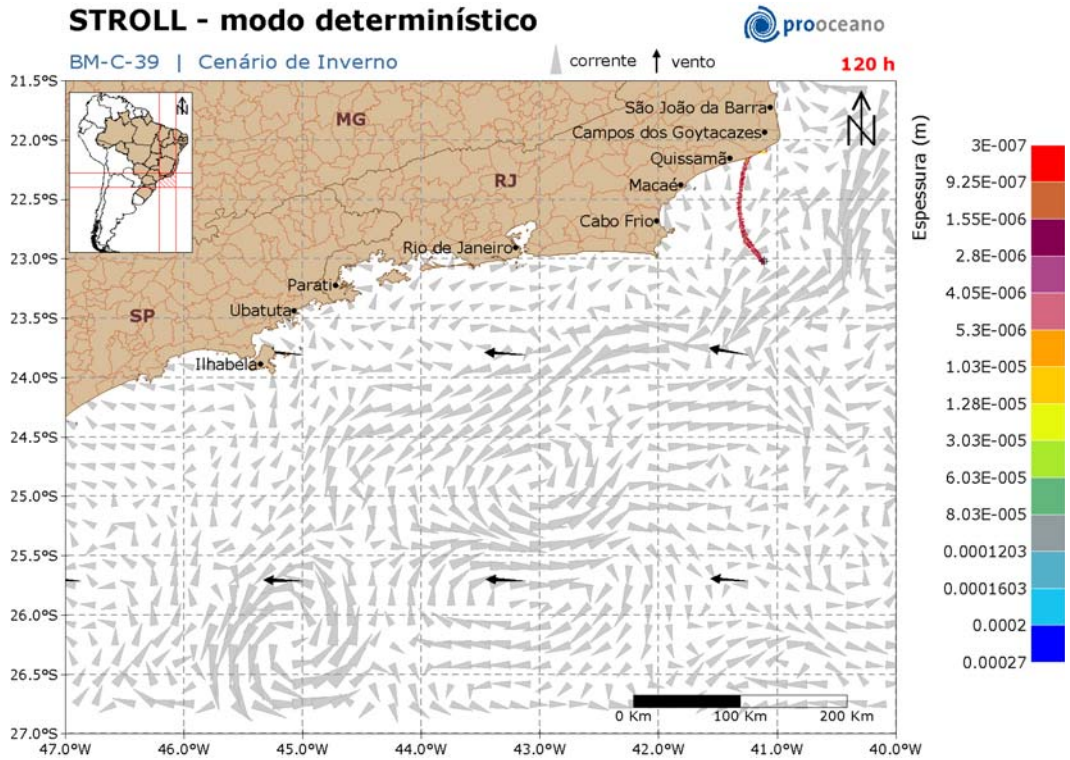


Figura 27: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 120 horas de simulação.

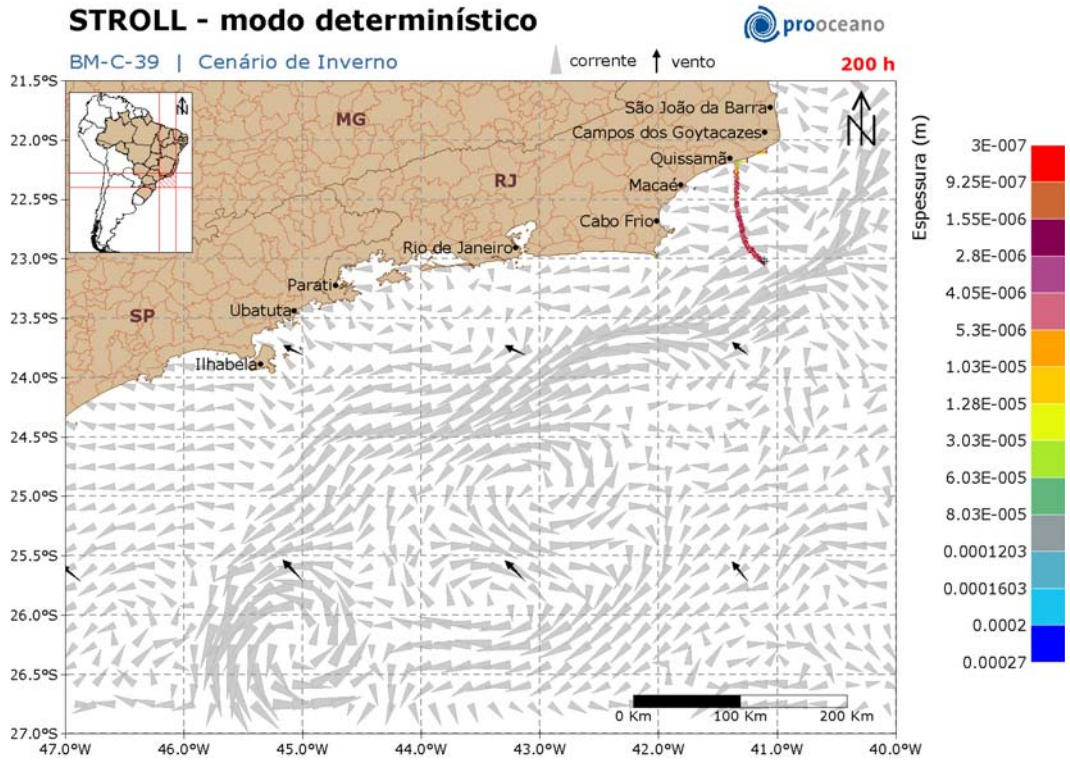


Figura 28: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 200 horas de simulação.

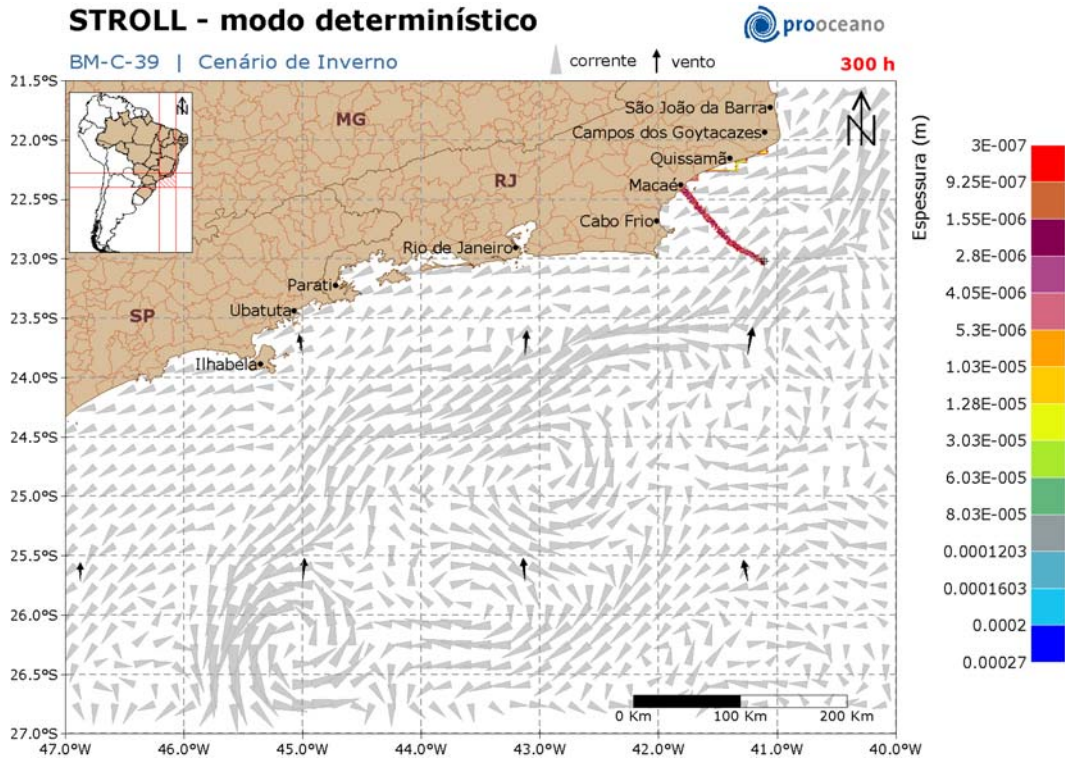


Figura 29: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 300 horas de simulação.

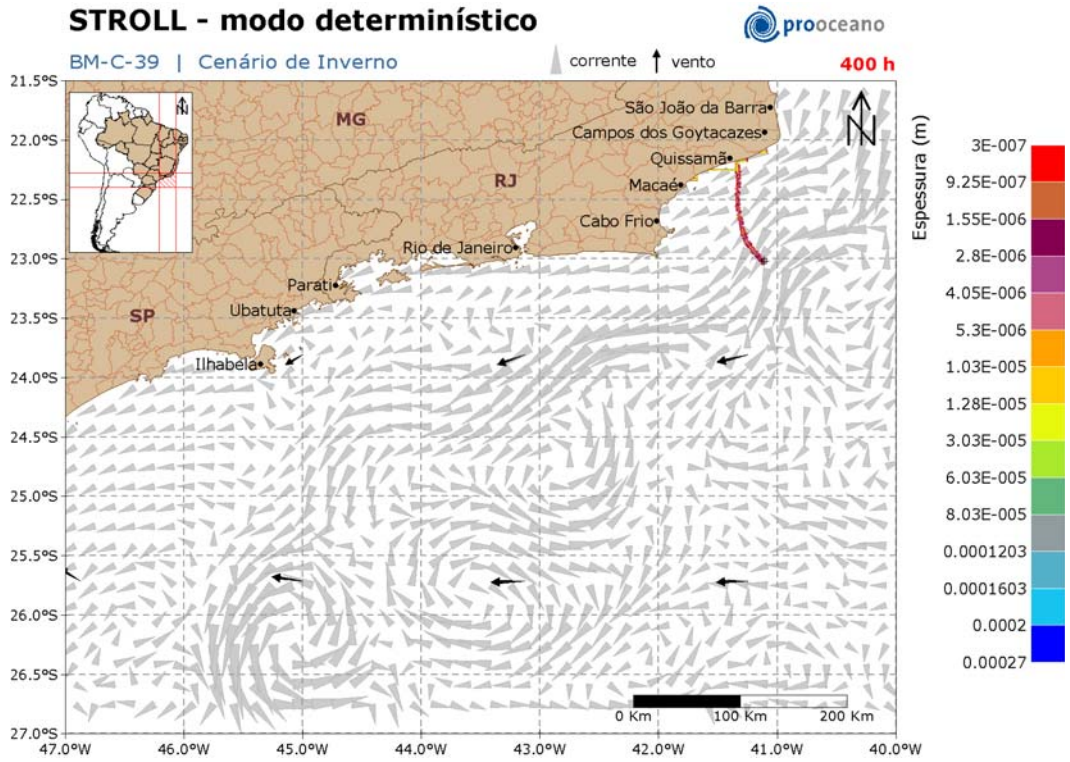


Figura 30: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 400 horas de simulação.

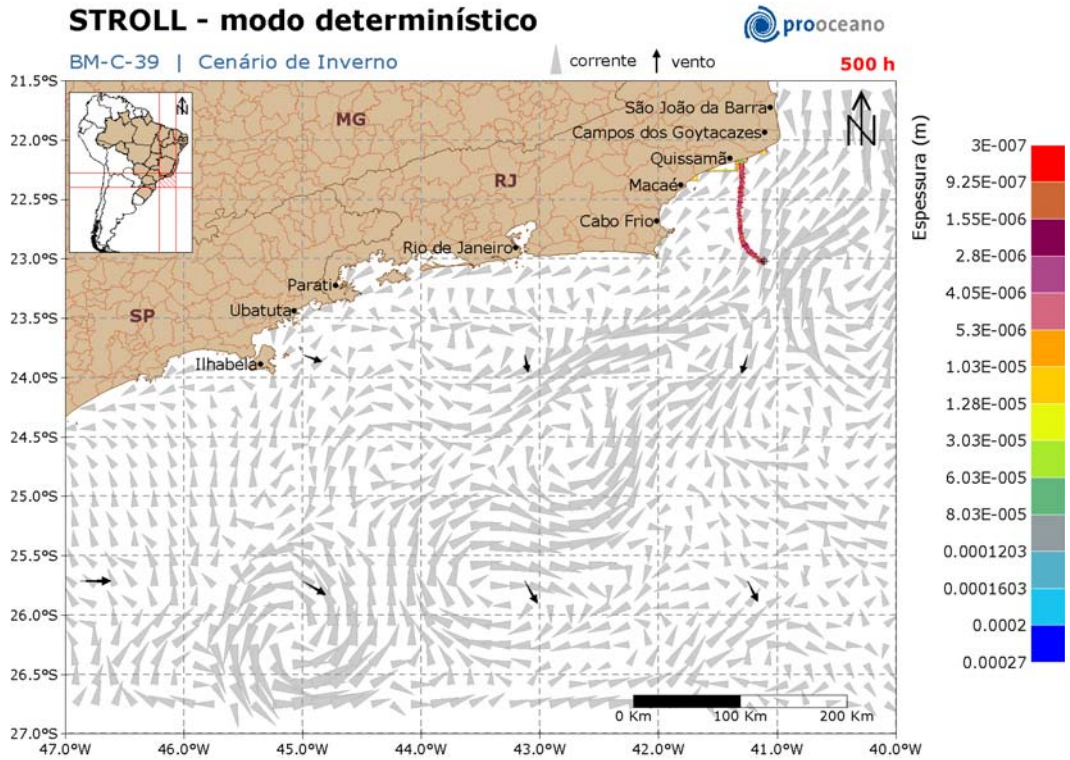


Figura 31: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 500 horas de simulação.

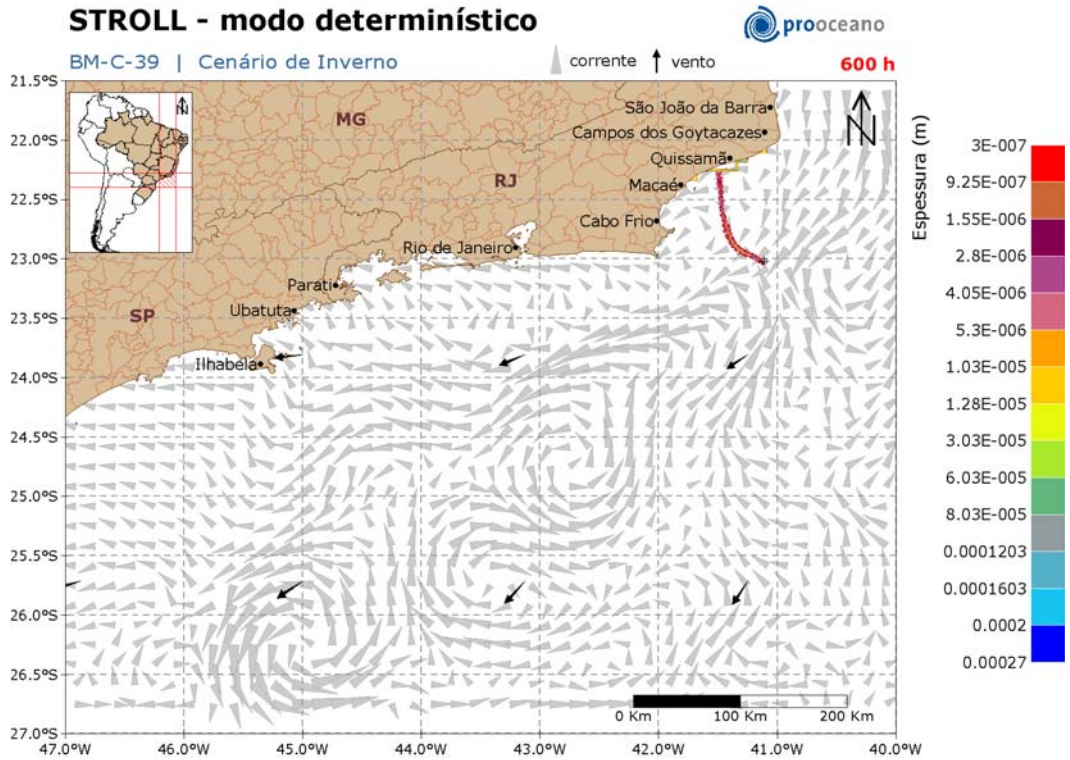


Figura 32: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 600 horas de simulação.

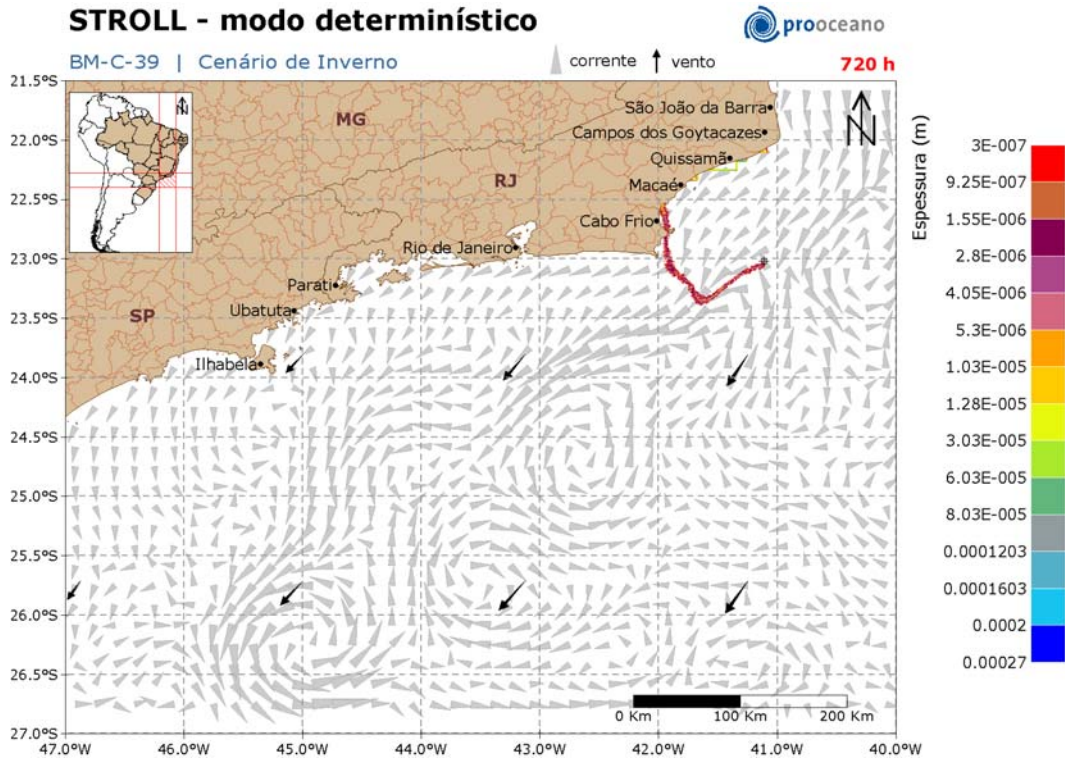


Figura 33: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 720 horas de simulação.

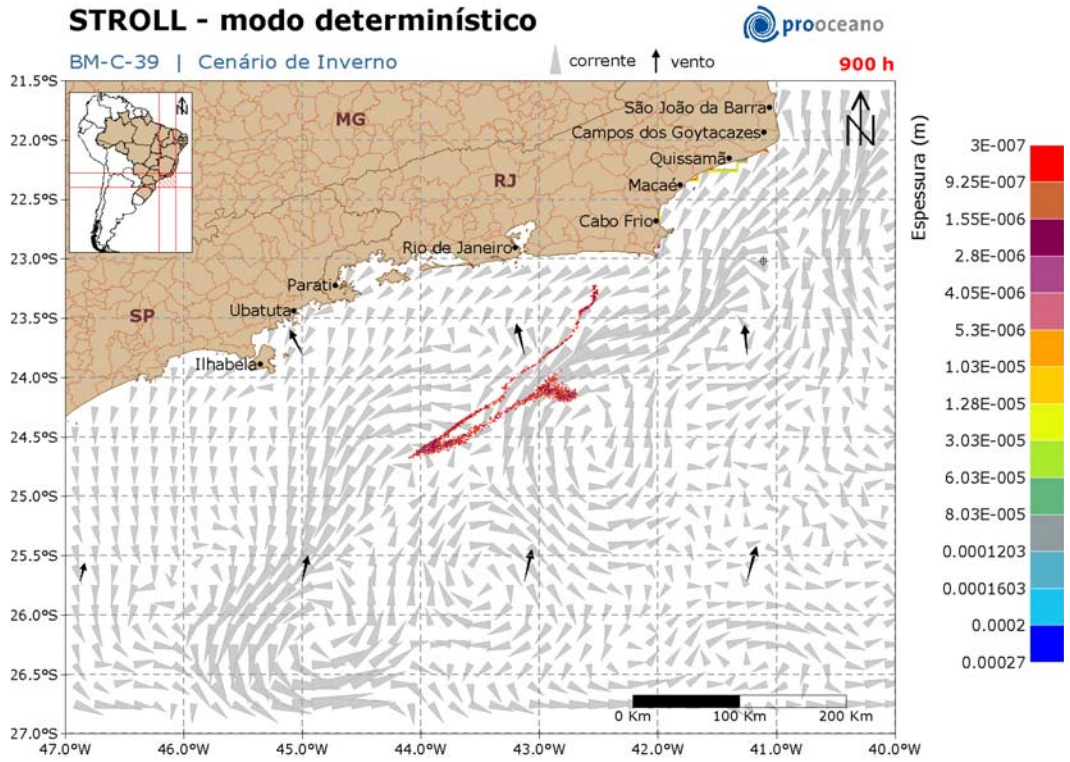


Figura 34: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 900 horas de simulação.

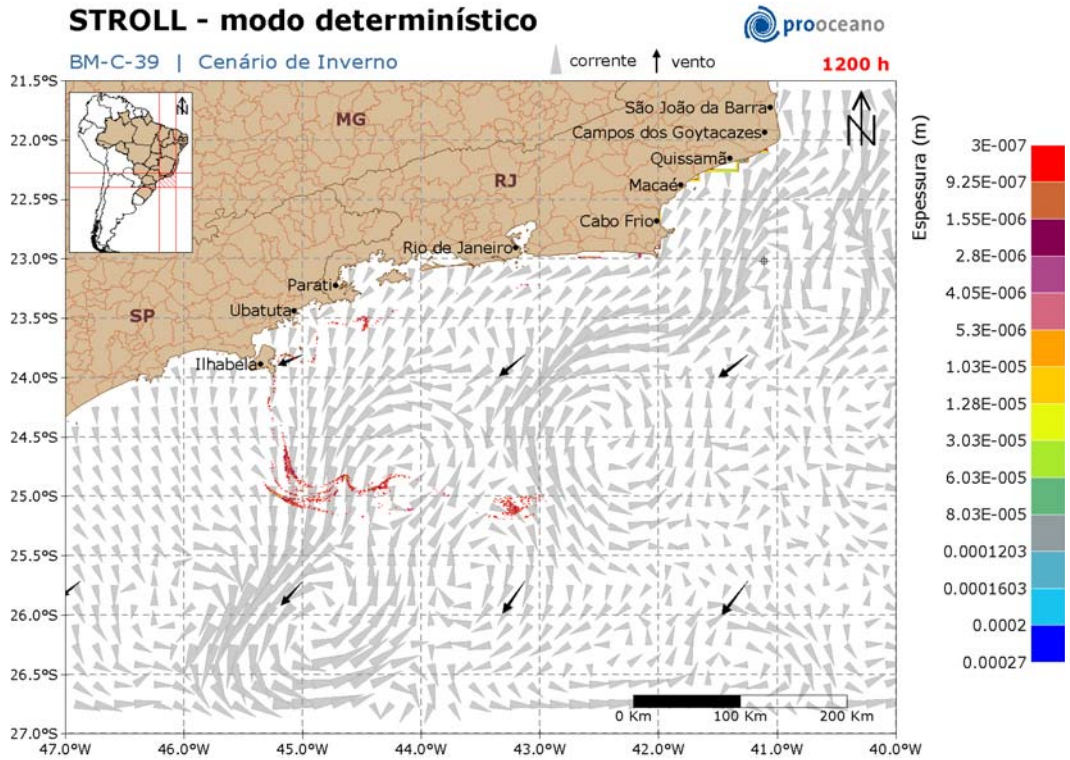


Figura 35: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 1200 horas de simulação.

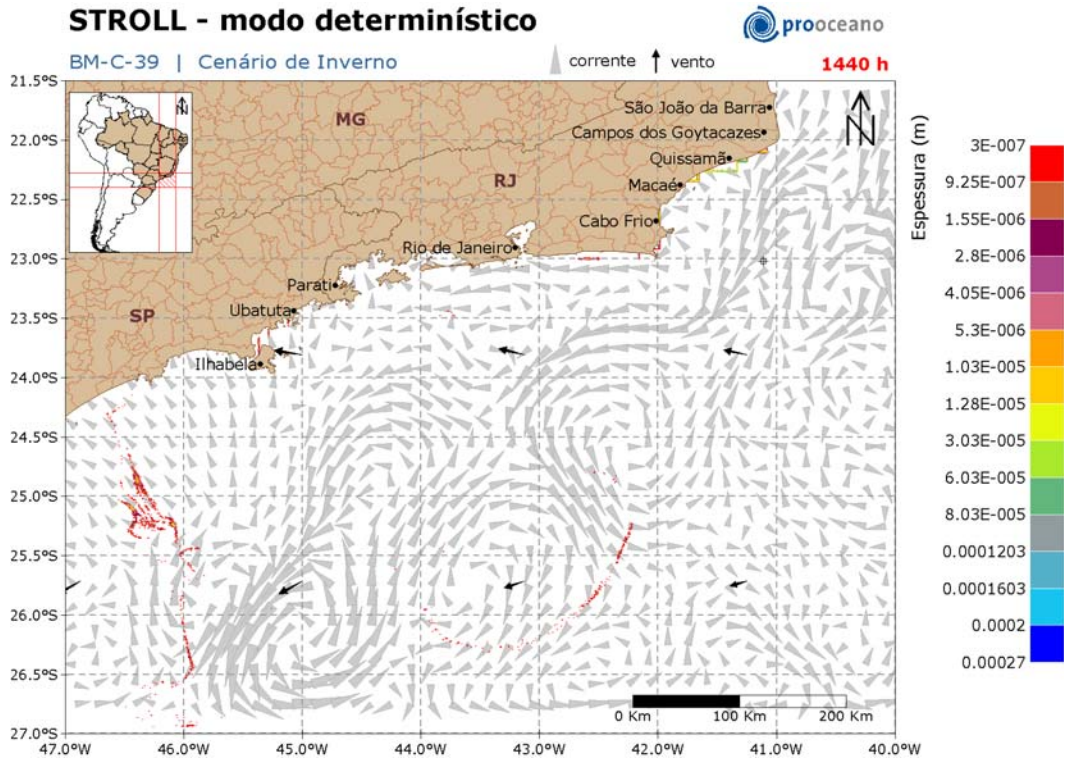


Figura 36: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 1440 horas de simulação.

A deriva do óleo até 36 horas ocorre rumo a norte do poço, após esse momento inicia-se a deriva na direção nordeste até o toque na costa em 72 horas, no município de Campos dos Goytacazes - RJ. Ao final da simulação, 1440h, o óleo atingiu de C. dos Goytacazes - RJ à Ilhabela – SP.

V.3. Balanços de Massa (ou Processos do Intemperismo)

A evolução temporal do balanço de massa obtido nas simulações é apresentada na Figura 37.

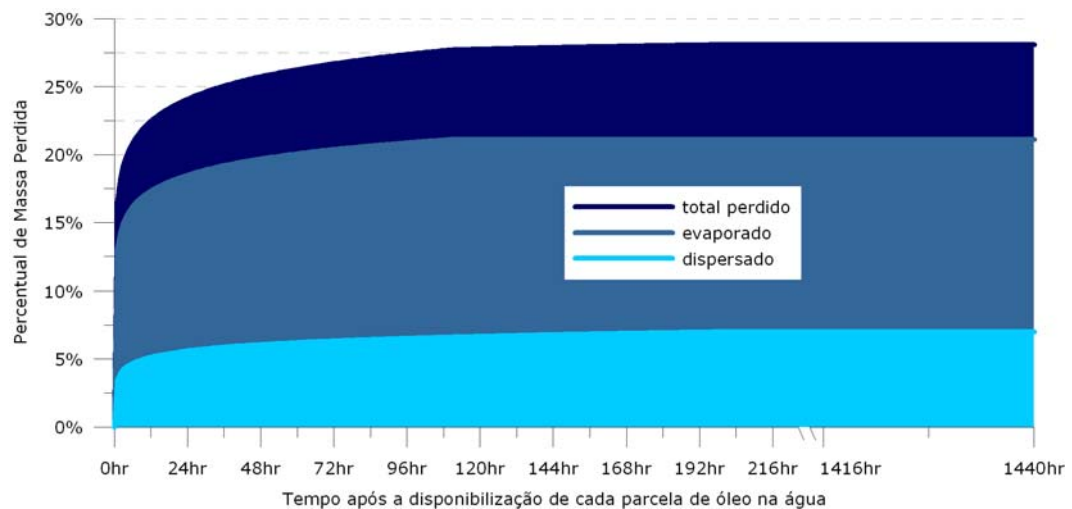


Figura 37: Evolução Temporal do Balanço de Massa ao longo da Simulação.

Ao longo da simulação a massa total de óleo perdida foi de 28,1%, sendo que esse valor é alcançado em até 201 horas após a disponibilização do óleo na água.

A perda total por evaporação foi o processo mais efetivo ao longo da simulação, consumindo 21,1% da massa, sendo essa porcentagem alcançada 108 horas após o início do vazamento.

A perda de massa pela dispersão consumiu 7% do óleo vazado em 201 horas também. O balanço de massa ao longo do tempo pode ser observado nas Figura 38 a Figura 42.

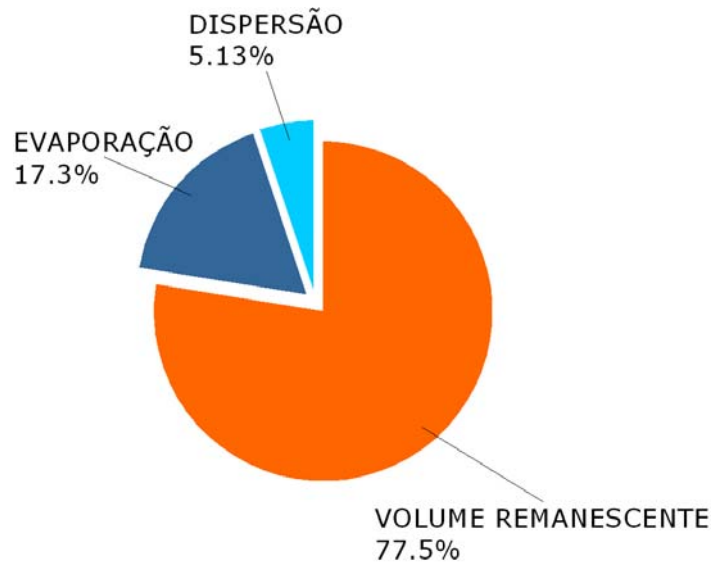


Figura 38: Balanço de Massa, após 12 horas de simulação.

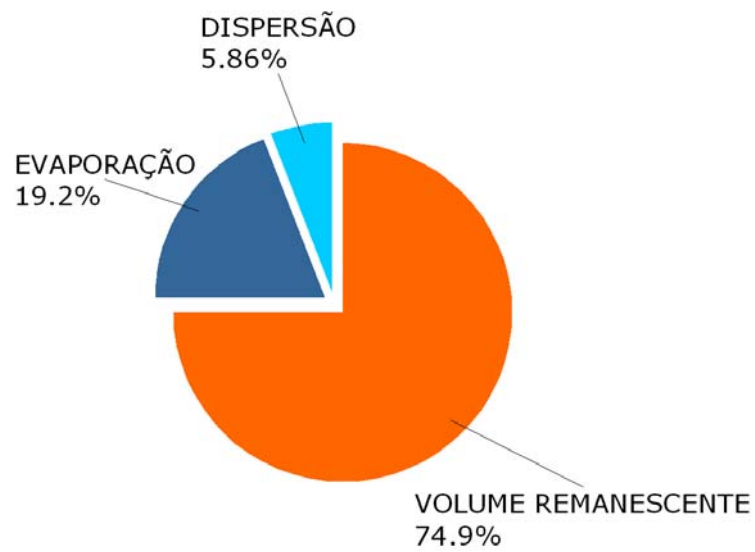


Figura 39: Balanço de Massa, após 36 horas de simulação.

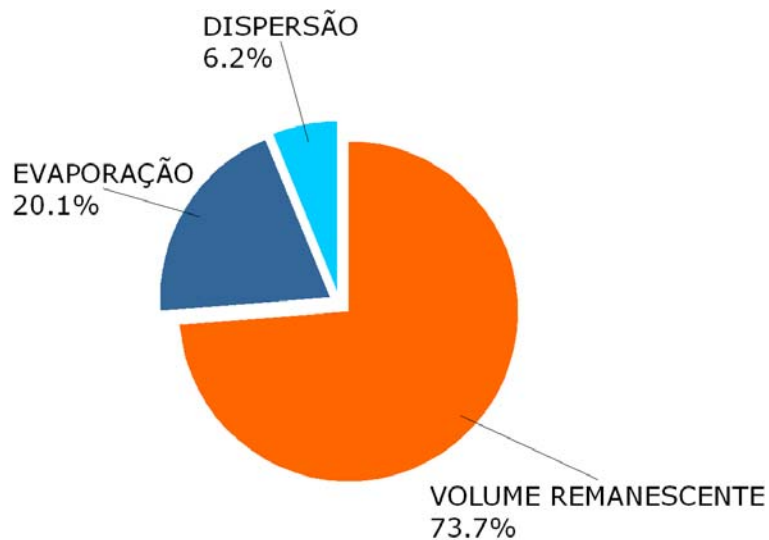


Figura 40: Balanço de Massa, após 60 horas de simulação.

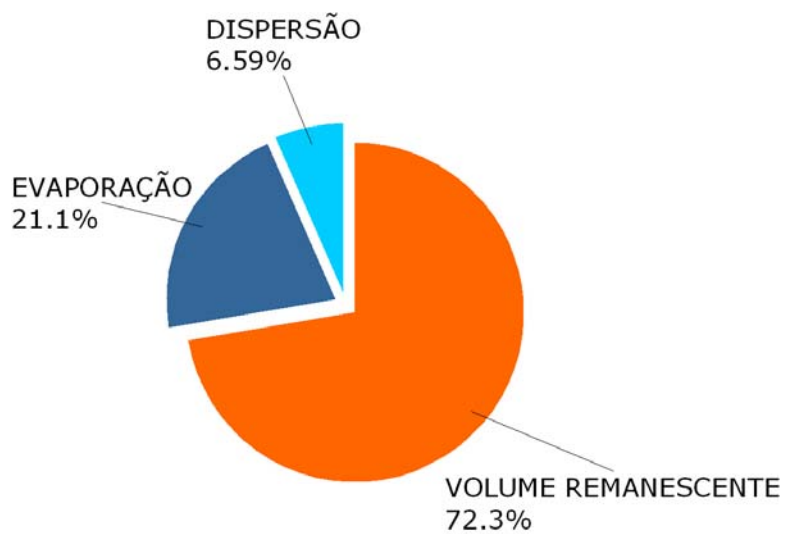


Figura 41: Balanço de Massa, após 108 horas de simulação.

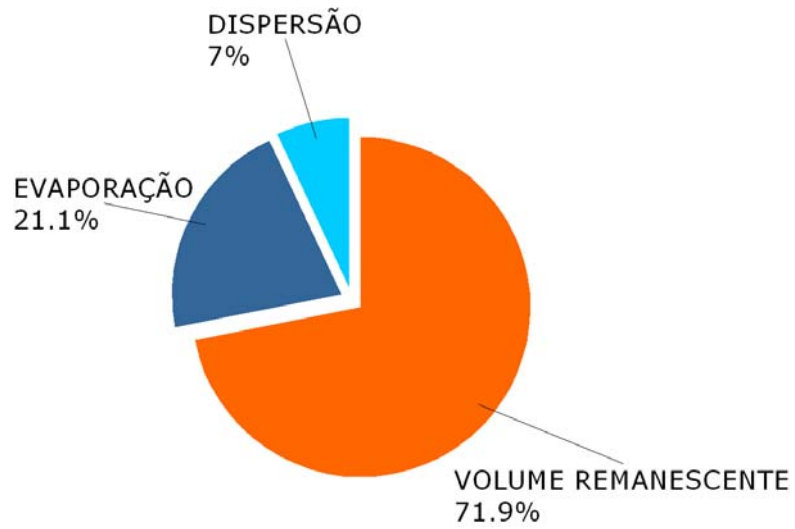


Figura 42: Balanço de Massa, após 201 horas de simulação.

VI. CONCLUSÃO

Em todas as simulações probabilísticas, pequeno e médio volume, além do *blow-out*, a deriva preferencial do óleo foi para sudoeste do poço.

Nos vazamentos de pequeno e médio volume, nos cenários de verão e inverno não se demonstrou probabilidade do óleo chegar à costa.

Os resultados obtidos na simulação de *blow-out* mostraram que a extensão de costa com probabilidade de presença de óleo foi maior no cenário de inverno, abrangendo a região entre Guarapari – ES e Praia Grande - SP. No cenário de verão a área de costa que pode ser atingida pelo óleo situa-se entre o município de São Francisco do Itabapoana – RJ e Praia Grande – SP. O tempo mínimo de chegada do óleo na costa foi menor no cenário de inverno, 60-100 horas, enquanto no cenário de verão foi de 100-200 horas.

Com base nos resultados do modo probabilístico foi definido um cenário crítico de inverno. O critério escolhido para definição da situação foi à trajetória que mais rapidamente alcançou à costa.

Na trajetória escolhida para o cenário de inverno, a deriva do óleo ocorreu, inicialmente, para norte do poço, tocando a costa de Campos dos Goytacazes - RJ em 72 horas.

Os resultados obtidos em relação ao intemperismo do óleo mostraram que após 201 horas da disponibilização de cada parcela de óleo na água, os processos não mais atuam. A massa total de óleo perdida foi de 71,9%, sendo que a evaporação consumiu 21,1% desse total.

VII. BIBLIOGRAFIA

CSANADY, G. T., 1972. Turbulent Diffusion in the Environment. Geophysics and Astrophysics Monographs, Vol.3, 247 pp., D. Reidel Publishing Company, Dordrecht: Holland.

DELVIGNE G.A.L. and SWEENEY C.E.. Natural dispersion of Oil. Oil & Chemical Pollution 4 (1988) 281-310.

DELVIGNE G.A.L., Hulsen L. Simplified laboratory experiments of oil dispersion coefficient- Application of computations of natural oil dispersion. Proc. 17th AAM Oilspill Program Technical Seminar. Vancouver, Canada, 1994.

DING, L.; FARMER, D. M. 1994. Observations of breaking wave statistics. Journal of Physical Oceanography 24, 1368-1387.

ELLIOTT A.J. A probabilistic description of the wind over Liverpool Bay with application to oil spill simulations Estuarine, Coastal and Shelf Science 61 (2004) 569-581.

ELPN/IBAMA. Informação Técnica nº 023/2002. Modelagem de Derramamento de Óleo no Mar.

FLORES, et al. Computer Modeling of Oil Spill Trajectories with a High Accuracy Method. Spill Science & Technology Bulletin. v. 5, n.5-6, 1999, p. 323-330.

JONES. R. 1997 A simplified Pseudo-component Oil evaporation Model. NOAA, USA in Proceedings of the Twentieth Arctic and Marine Oilspill Program, Technical Seminar, Volume 1, p.43-60. Vancouver, Canada.

KALNAY, E, M. KANAMITSU, R. KISTLER, W. COLLINS, D. DEAVEN, L. GANDIN, M. IREDELL, S. SAHA, G. WHITE, J. WOOLLEN, Y. ZHU, M. CHELLIAH, W. EBISUZAK, W. HIGGINS, J. JANOWIAK, K.C. MO, C. ROPELEWSKI, J. WANG, A. LEETMAA, R. REYNOLDS, R. JENNE, D. JOSEPH, 1996: "The NCEP /NCAR 40-Year Reanalysis Project", Bulletin of the American Meteorological Society, 437-470.

LEHR, W.J., SIMECEK-BEATTY, D., 2000. The relation of Langmuir circulation processes to the standard oil spill spreading, dispersion, and transport algorithms. Spill Science and Technology Bulletin 6, 247-253.

LEHR, W.J., JONES, R., EVANS, M., SIMECEK-BEATTY, D., OVERSTREET, R., 2002. Revisions of the ADIOS oil spill model. Environmental Modelling and Software 17, 191-199.

LYMAN, J. L.; REEHL, W.F.; ROSENBLATT, D.A. Handbook of Chemical Property Estimation Methods. American Chemical Society, Washington D.C., 1990.

MACKAY, D. & R. S. MATSUGU, 1973.: Evaporation rates of liquid hydrocarbon spills on land and water. Can J. Chem. Eng., 51. 434-9.

MACKAY, D., I. BUIST, R. MASCARENHAS & S. PATERSON, 1980.: Oil Spill Processes and Models. Environmental Protection Service. Canada. Report EE-8.

MACKAY, D., SHIU, W.Y., HOSSAIN, K., STIVER, W., MCCURDY, D., PETERSON, S., TEBEAU, P. A., 1983. Development and Calibration of an Oil Spill Behavior Model, Report

No. CG-D-27-83, United States Coast Guard Office of Research and Development, Groton, Conn., USA.

MONAHAN, E., 1971. Oceanic whitecaps. *Journal of Physical Oceanography* 1, 139–144.

NOAA, 2000. Evaporation Technical Notes in ADIOS 2 (Automated Data Inquiry for oil Spills).

OEY, L.-Y., G.L. MELLOR, and R.I. HIRES, 1985a. A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary. Part I: Description of the model and model simulations, *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 1676-1692.

OEY, L.-Y., G.L. MELLOR, and R.I. HIRES, 1985b. A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary. Part II: Comparison with observation, *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 1693-1709.

SOTO, Y. J. M. A modelagem hidrodinâmica como apoio a tomada de decisão em caso de derrame de óleo na parte interna do complexo estuarino Antonina-Paranaguá-PR. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Paraná. 2004.

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



RELATÓRIO TÉCNICO [REV. 00]

MODELAGEM DE DISPERSÃO DE ÓLEO
Bloco BM-C-41

Preparado para:
OGX | HABTEC

Preparado por:
Anna Paula Fagundes
Leandro Calil
Leonardo Marques da Cruz

14 de junho de 2008

PROOCEANO

AV. RIO BRANCO, 311 / 1224 CENTRO
CEP 20.0040-009 RIO DE JANEIRO RJ
TEL | FAX +55 21 2532-5666
WWW.PROOCEANO.COM.BR

RELATÓRIO TÉCNICO [REV.00]

MODELAGEM DE DISPERSÃO DE ÓLEO
Bloco BM-C-41

Preparado para:
OGX | HABTEC

Preparado por:
Anna Paula Fagundes
Leandro Calil
Leonardo Marques da Cruz

14 de junho de 2008

ÍNDICE:

I. INTRODUÇÃO	4
II. METODOLOGIA.....	4
II.1. Modo Determinístico.....	4
II.1.1. Intemperismo	5
II.1.2. Cálculo da Espessura	10
II.2. Modo Probabilístico	11
III. CARACTERÍSTICAS DA SIMULAÇÃO.....	13
IV. FORÇANTES.....	14
IV.1. Variabilidade Ambiental.....	17
V. RESULTADOS	18
V.1. Modo Probabilístico	19
V.1.1. Vazamento de 8m ³	19
V.1.2. Vazamento de 200m ³	22
V.1.3. Blow-out	26
V.2. Modo Determinístico.....	35
V.3. Balanços de Massa (ou Processos do Intemperismo)	40
VI. CONCLUSÃO	40
VII. BIBLIOGRAFIA.....	40

I. INTRODUÇÃO

O presente relatório descreve os resultados obtidos na modelagem numérica do transporte de óleo no mar para um cenário acidental de vazamento no Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, costa sudeste do litoral brasileiro. O local do vazamento é o poço Waimea de coordenadas 23° 28' 29,30" S e 41° 25' 38,64" W.

Para contextualizar a questão, a metodologia aplicada para a realização das simulações, os modelos numéricos e os dados físicos usados serão também descritos.

II. METODOLOGIA

As simulações numéricas apresentadas nesse estudo foram feitas com o STROLL, modelo desenvolvido pela PROOCEANO para estudos de transporte de contaminantes no mar. O STROLL é um modelo lagrangeano capaz de simular o transporte advectivo-turbulento em até 3 dimensões além dos processos de intemperismo e a perda de massa de diversos tipos de contaminantes.

O STROLL possui dois modos de operação: determinístico e probabilístico.

A modelagem determinística consiste em estudar o comportamento do contaminante em um determinado cenário ambiental, apresentando instantâneos deste comportamento em tempos definidos pelo usuário.

Cabe à simulação probabilística, averiguar o comportamento do contaminante sob a influência de uma extensa combinação de cenários ambientais e determinar a probabilidade de presença e o tempo mínimo de chegada do mesmo em cada região do domínio do modelo.

Uma breve descrição destes modos, bem como dos processos de intemperismo será apresentada a seguir.

II.1. Modo Determinístico

A emissão de óleo no mar é representada pela inserção de um número de elementos n_e a cada intervalo de tempo Δt na região fonte. Considerando uma vazão Q m³/s, o volume inicialmente associado a cada elemento será:

$$q_{e,t=0} = \frac{Q\Delta t}{n_e} \quad (II-1)$$

O transporte advectivo de cada elemento é dado através do cálculo de sua posição p_e a cada passo de tempo. Com isso, a posição do elemento e no instante t é dada por:

$$p_{e,t+1} = p_{e,t} + \Delta t \frac{dp_e}{dt} + \frac{\Delta t^2}{2} \frac{d^2 p_e}{dt^2} \quad (II-2)$$

Onde:

$$\frac{dp_{i,e}}{dt} = \vec{u}_i \quad \text{é a velocidade e} \quad (11-3)$$

$$\frac{d^2 p_{i,e}}{dt^2} = \frac{d\vec{u}_i}{dt} = \frac{\partial \vec{u}_i}{\partial t} + \vec{u}_i \frac{\partial \vec{u}_i}{\partial x_i} \quad \text{a aceleração} \quad (11-4)$$

Para $i = 1, 2$. A velocidade \vec{u}_i (u e v) é obtida através de interpolação bi-linear no espaço e linear no tempo, dos dados fornecidos pelo modelo hidrodinâmico e pelo campo de vento, cuja contribuição, nesse caso, é de 1,5% de sua intensidade.

A aceleração é obtida através da derivação no tempo dos valores de velocidade interpolados. Os valores de velocidade utilizados são fornecidos por um modelo hidrodinâmico externo.

A difusão turbulenta do material é simulada através de modelos de passos aleatórios (*random walk models*), cuja idéia central consiste em adicionar um desvio de velocidade aleatório \vec{u}'_i às velocidades advectivas (Csanady, 1972).

11.1.1. Intemperismo

O STROLL simula os principais processos de intemperismo que ocorrem no óleo quando este é derramado no mar: espalhamento, evaporação, emulsificação e dispersão, e as consequentes mudanças nas propriedades físicas, como a densidade e a viscosidade.

11.1.1.1. Viscosidade e Densidade do Contaminante

A variação temporal da densidade do óleo ($\rho_o(t)$) é calculada de forma indireta, em função do conteúdo de água (Wc) presente na mistura e da fração de óleo evaporada ($frac_{evap}$), que são calculadas a cada passo de tempo do modelo, segundo a formulação apresentada à seguir:

$$\rho_o(t) = Wc * \rho_{\acute{a}gua} + (1 - Wc) \rho_0 [1 - c_1 (T - T_{\acute{a}gua}) (1 - c_2 frac_{evap})] \quad (11-5)$$

onde ρ_o é a densidade do óleo, ρ_0 é a densidade inicial do óleo, $\rho_{\acute{a}gua}$ a densidade da água, T e $T_{\acute{a}gua}$ a temperatura do óleo e da água, respectivamente, $frac_{evap}$ a fração de óleo evaporada, e c_1 e c_2 as constantes empíricas específicas para cada tipo de óleo.

A viscosidade do constituinte μ varia ao longo de sua trajetória, sendo parametrizada por Mackay *et al.* (1983) *apud* Lehr *et al.* (2002).

$$\mu = \mu_0 \cdot \exp \left[\left(C_{evap} \text{frac}_{evap} \right) + \frac{C_{emul1} Wc}{1 - C_{emul2}} + C_{temp} \left(\frac{T_{\acute{a}gua} - T}{T_{\acute{a}gua} T} \right) \right] \quad (11-6)$$

onde μ_0 é a viscosidade inicial do constituinte, C_{evap} é a constante de evaporação e igual a 5000 K (NOAA, 2000), C_{temp} uma constante empírica adimensional que depende do tipo de óleo, podendo variar entre 1 e 10. Para as constantes adimensionais C_{emul1} e C_{emul2} , NOAA(2000) sugere-se valores de 2,5 e 0,65, respectivamente.

11.1.1.2. Espalhamento

Admitindo que a fase inicial do espalhamento (gravitacional-inercial) de uma mancha de óleo é muito curta, o STROLL parte da fase gravitacional-viscosa para calcular o espalhamento, assumindo que quando a espessura da mancha decresce até um determinado valor, o espalhamento termina. Assim o raio R_0 da área inicial é calculado por:

$$R_0 = \frac{K_2^2}{K_1} \left(\frac{V_0^5 g \Delta}{\mu_{\acute{a}gua}} \right)^{\frac{1}{12}} \quad (11-7)$$

onde K_1 e K_2 , recomendado por Flores *et al* (1999) *apud* Soto (2004), são iguais a 0,57 e 0,725, respectivamente, V_0 o volume inicial do óleo derramado, $\mu_{\acute{a}gua}$ a viscosidade da água e Δ a diferença relativa de densidade da água e do óleo:

$$\Delta = \frac{\rho_{\acute{a}gua} - \rho_{\acute{o}leo}}{\rho_{\acute{o}leo}} \quad (11-8)$$

11.1.1.3. Evaporação

O STROLL utiliza o modelo de evaporação proposto por Jones (1997), o qual se baseia na relação de Mackay & Matsugu (1973), porém considerando o óleo como sendo uma mistura de componentes. Essa abordagem é também conhecida com modelo de Pseudo-Componentes, onde a taxa de evaporação pode ser obtida por:

$$\frac{dV_j}{dt} = \frac{K_j A \bar{V}_j \chi_j P_j}{R T} \quad (11-9)$$

onde j varia de acordo com o número de pseudo-componentes, K_j é o coeficiente de transferência de massa do pseudo-componente; A é a área da mancha; \bar{V}_j é o volume molar do pseudo-componente; χ_j é a fração molar do componente; P_j é a pressão de vapor do pseudo-componente; R é a constante universal dos gases e T é a temperatura.

A fração molar de cada pseudo-componente muda com o tempo e é constituída pela razão entre o número de moles do pseudo-componente, que é obtido dividindo-se o seu volume por seu volume molar, e a soma do número de moles total da mistura.

O volume molar de cada pseudo-componente é obtido através de uma correlação de dados de pontos de ebulição e volumes molares de uma série de alcanos com números de carbonos variando entre 3 e 20 (C3 e C20), expressa por:

$$\bar{V}_j = 7 \times 10^{-5} - (2,102 \times 10^{-7} BP_j) + [1 \times 10^{-9} (BP_j)^2] \quad (II-10)$$

onde BP_j é o ponto de ebulição de cada componente.

A pressão de vapor de cada pseudo-componente na temperatura ambiente é obtida através de seus pontos de ebulição, utilizando-se a Equação de Antoine, segundo Lyman *et al.* (1990) *apud* Jones (1997):

$$\ln \frac{P_j}{P^0} = \frac{\Delta S_j \cdot (BP_j - C)^2}{R \cdot BP_j} \cdot \left[\frac{1}{BP_j - C} - \frac{1}{T - C} \right] \quad (II-11)$$

onde P^0 é a pressão atmosférica; $\Delta S_j = 8,75 + 1,987 \log(BP_j)$, é a variação na entropia do componente oriunda da vaporização e $C = (0,19 \cdot BP_j) - 18$ é uma constante determinada a partir do ponto de ebulição do pseudo-componente.

O coeficiente de transferência de massa é calculado segundo Mackay & Matsugu (1973):

$$K_i = 0,0048 \cdot U^{7/9} \cdot Z^{-1/9} \cdot Sc_j^{-2/3} \quad (II-12)$$

onde U é a velocidade do vento; Z é o comprimento da mancha na direção do vento; e Sc é o número de Schmidt do pseudo-componente.

O número de Schmidt expressa a razão entre a viscosidade cinemática do ar com a difusividade molecular do pseudo-componente.

Para obter-se a difusividade molecular do pseudo-componente usa-se a seguinte aproximação, segundo (Thibodeaux, 1979 *apud* Jones, 1997):

$$D_j = D_{\text{água}} \sqrt{\frac{MW_{\text{água}}}{MW_j}} \quad (II-13)$$

onde $D_{\text{água}}$ é a difusividade molecular da água; e $MW_{\text{água}}$ é o peso molecular da água.

O peso molecular de cada pseudo-componente é calculado através de uma correlação também obtida de uma série de alcanos C3 a C20:

$$MW_j = 0,04132 - \left(1,985 \cdot 10^{-4} \cdot BP_j \right) + \left[9,494 \cdot 10^{-7} \cdot (BP_j)^2 \right] \quad (\text{II-14})$$

Reescrevendo a equação em termos de volume e volume molar, as taxas de evaporação de cada pseudo-componente pode ser obtida por:

$$\frac{dV_j}{dt} = - \frac{A \cdot K_j \cdot P_j \cdot V_j}{R \cdot T \cdot \sum_{k=1}^{nc} \frac{V_j}{V_k}} \quad (\text{II-15})$$

II.1.1.4. Emulsificação

A incorporação de água no óleo é descrita no modelo por uma equação proposta por Mackay *et al* (1980):

$$\frac{dfrac_{wv}}{dt} = K_w (1 + W)^2 \left(1 - \frac{frac_{wv}}{frac_{wv}^{final}} \right) \quad (\text{II-16})$$

em que $frac_{wv}$ é a fração volumétrica de água incorporada na emulsão, $frac_{wv}^{final}$ é a fração final de água incorporada e K_w uma constante empírica e igual a $1,6 \times 10^{-6}$.

II.1.1.5. Dispersão

A formulação utilizada para o cálculo do entranhamento no STROLL é baseada no modelo desenvolvido por Delvigne & Sweeney (1988) a partir de estudos sobre o entranhamento ou dispersão superficial e subsuperficial de óleo, realizados em laboratório.

Nesse modelo, a taxa de entranhamento por unidade de área é expressa por:

$$Q(d_0) = C_0 \cdot D_{ba}^{0,57} \cdot S_{cov} \cdot F_{wc} \cdot d_0^{0,7} \cdot \Delta d \quad (\text{II-17})$$

onde $Q(d_0)$ é a taxa de entranhamento por unidade de área no intervalo Δd de diâmetros de gotículas de óleo em torno de d_0 $\left(d_0 - \frac{1}{2} \Delta d \text{ a } d_0 + \frac{1}{2} \Delta d \right)$; d_0 é o diâmetro da gotícula de óleo; C_0 é uma constante de dispersão, relacionada a viscosidade do óleo; D_{ba}

é a energia de dissipação por ondas; S_{COV} é o fator de cobertura da superfície do mar por óleo ($0 \leq S_{COV} \leq 1$), sendo $S_{COV} = 1$ para manchas contínuas; F_{wc} é a fração da superfície do mar suscetível a quebra de ondas (encapelamento) por unidade de tempo.

A energia de dissipação por ondas por unidade de área é calculada por:

$$D_{ba} = 0,0034 \cdot \rho_w \cdot g \left[\frac{HS}{\sqrt{2}} \right]^2 \quad (11-18)$$

onde HS é a altura significativa de ondas, podendo ser calculada por: $HS = \frac{0,243 \cdot U^2}{g}$,

sendo U a velocidade do vento; ρ_w é a densidade da água; e g a aceleração da gravidade.

Para estimar a fração da superfície do mar suscetível ao encapelamento, o modelo utiliza a formulação proposta por Monahan (1971), Ding & Farmer (1994) *apud* Lehr & Simecek-Beatty (2000) e Lehr & Simecek-Beatty (2000), sendo:

$$\begin{aligned} F_{wc} &= \frac{0,025 \cdot (U - 3)}{T_M} \rightarrow 0 \leq U \leq 4; \\ F_{wc} &= \frac{0,01 \cdot U + 0,01}{T_M} \rightarrow U > 4, \end{aligned} \quad (11-19)$$

onde T_M é a constante de tempo de Monahan (1971), sendo $T_M = 3,85$ para água do mar.

Segundo Lehr & Simecek-Beatty (2000), variações nos diâmetros das gotículas de óleo acarretam em diferentes flutuabilidades para as mesmas, causando estratificação na concentração de óleo na coluna de água. Ainda segundo esses autores, a partir 50 a 100 μ de diâmetro, as partículas apresentam flutuabilidade neutra, sendo o movimento dominado pela dispersão horizontal e vertical sobre os efeitos de flutuabilidade.

O intervalo de diâmetro das gotículas de óleo utilizado no STROLL, assim como o modelo ADIOS2 (Lehr, 2002) varia entre $d_{\min} = 0\mu$ a $d_{\max} = 70\mu$.

A constante de dispersão C_0 , segundo Delvigne & Hulsen (1994) pode ser obtida através da seguinte relação:

$$\begin{aligned} C_0 &= 1827 \ v^{0,0658} \rightarrow v < 125 \ cSt; \\ C_0 &= 1827 \ v^{1,1951} \rightarrow v > 125 \ cSt; \end{aligned} \quad (11-20)$$

onde ν é a viscosidade do óleo.

Integrando a taxa de entranhamento por unidade de área no intervalo Δd de diâmetros de gotículas de óleo ($Q(d_0)$) no intervalo de gotículas d_{\min} a d_{\max} , obtêm-se:

$$Q = \frac{d_{\max}}{1,7} \cdot C_0 \cdot D_{ba}^{0,57} \cdot F_{wc} \cdot S_{cov} \quad (11-21)$$

sendo Q a taxa de entranhamento total, por unidade de área.

Para estimar a penetração máxima do óleo na coluna de água o modelo utiliza a equação proposta por Delvigne & Sweeney (1988):

$$Z_i = (1,5 \pm 0,35) \cdot H_b \quad (11-22)$$

onde H_b é a altura de quebra da onda.

11.1.2. Cálculo da Espessura

A espessura do óleo associada a cada elemento é dada por:

$$esp_e(x, y, t) = \frac{q_e}{2\pi[\sigma(t)]^2} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x - p_{x,e}(t)}{\sigma(t)}\right)^2 + \left(\frac{y - p_{y,e}(t)}{\sigma(t)}\right)^2\right]\right\} \quad (11-23)$$

onde q_e é o volume de cada elemento, x e y as coordenadas do ponto de grade, $p_{x,e}$ e $p_{y,e}$ a posição do centro de massa de cada elemento e $\sigma_i^2(t)$ é a variância da distribuição, relacionado à turbulência local através da equação:

$$D = \frac{1}{2} \frac{d\sigma^2(t)}{dt} \quad (11-24)$$

sendo D a difusividade turbulenta isotrópica horizontalmente, parametrizada à partir do escoamento, obtido do modelo hidrodinâmico, segundo a formulação de Smagorinsky:

$$D = C \Delta x \Delta y \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 \right]^{1/2} \quad (11-25)$$

onde Δx e Δy são os intervalos de discretização da grade e C é a constante de Smagorinsky, cujos valores para o oceano variam da ordem de 0,1 a 0,2 (Oey *et al.*, 1985a e b).

A espessura resultante de todo o descarte é então obtida através da soma da contribuição de cada elemento:

$$ESP(x, y, t) = \sum_{e=1}^{n_e} esp_e(x, y, t) \quad (11-26)$$

11.2. Modo Probabilístico

Na abordagem probabilística utilizada são realizadas diversas simulações determinísticas, considerando-se todos os processos citados nos itens anteriores, em diferentes cenários meteo-oceanográficos. Este módulo do STROLL tem por objetivo verificar a probabilidade de presença do constituinte na região estudada, bem como o tempo de chegada, a fim de determinar um cenário crítico para o descarte de contaminantes na região.

De acordo com os cenários meteo-oceanográficos locais, as séries temporais de vento e corrente são repartidas em 4 séries sazonais – correntes-verão, correntes-inverno, ventos-verão, ventos-inverno – conforme apresentado no esquema da Figura 1.

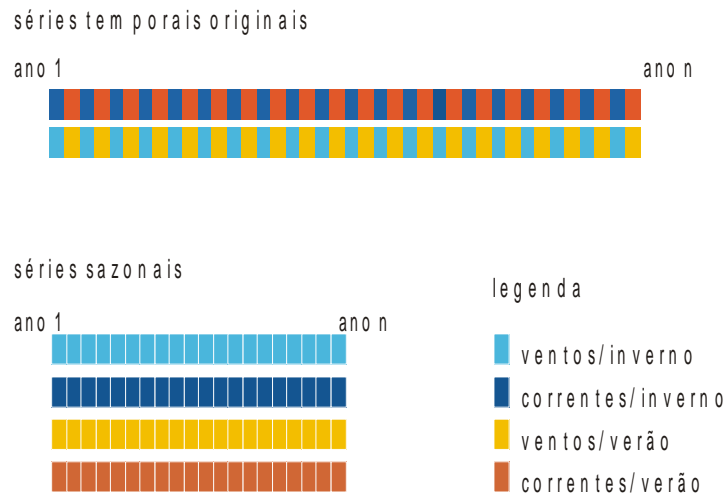


Figura 1: Representação esquemática da separação sazonal dos dados para a modelagem probabilística.

As séries de vento e corrente são então combinadas em diversos arranjos de forma a contemplar de forma ideal os possíveis cenários ambientais (Figura 2).

exemplo: probabilístico de verão

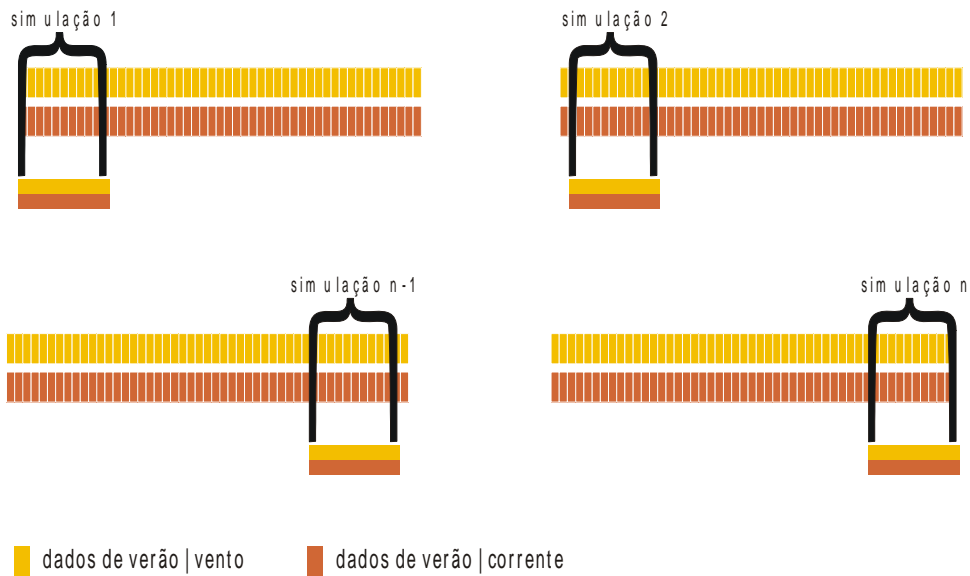


Figura 2: Representação esquemática da combinação dos dados de vento e corrente para a simulação probabilística.

Cada combinação de vento e corrente irá determinar um comportamento para o vazamento. O modelo identifica, em cada combinação, os pontos de grade onde a espessura da mancha do constituinte esteve acima do limiar determinado (Figura 3 , b e c):

$$I(x, y) = 1 \quad \text{se } ESP(x, y, t) \geq \text{lim}$$

$$I(x, y) = 0 \quad \text{se } ESP(x, y, t) < \text{lim}$$

A probabilidade de presença do poluente será dada pela normalização do número de vezes em que a mancha esteve acima do limiar em cada ponto de grade pelo número de combinações n_{com} realizadas (Figura 3 d):

$$P(x, y) = \sum_{i_{sim}=1}^{n_{com}} \left(\frac{I(x, y)}{n_{com}} \right) \quad (11-27)$$

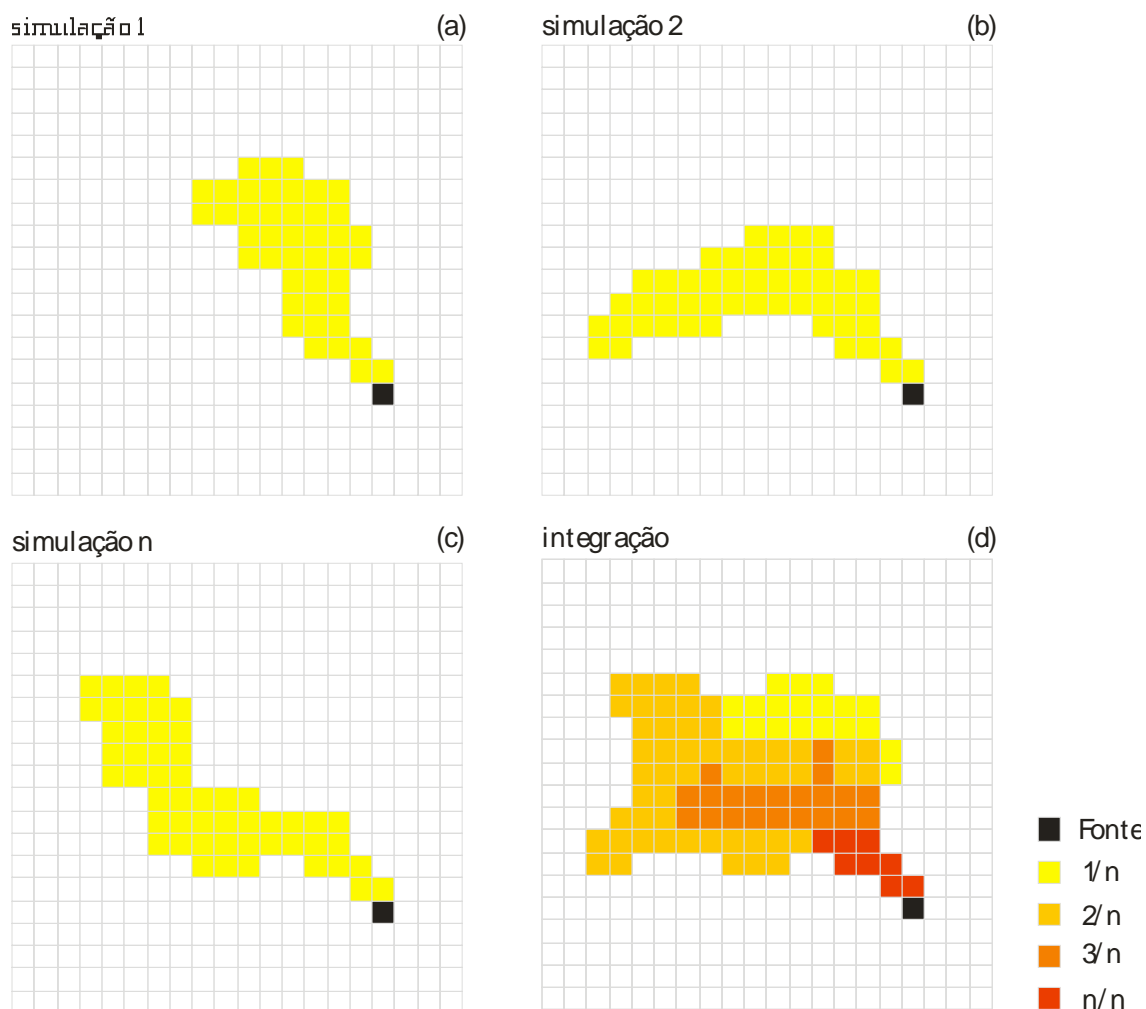


Figura 3: Representação esquemática do cálculo da probabilidade de presença de constituinte no STROLL.

Além da probabilidade de presença do constituinte, o módulo probabilístico do STROLL fornece também os tempos de chegada da mancha em cada ponto de grade do domínio, em cada simulação.

III. CARACTERÍSTICAS DA SIMULAÇÃO

As simulações foram realizadas considerando um evento de *blow-out* com vazamento contínuo por 30 dias (720 horas) em 2 (dois) cenários sazonais, verão e inverno. Após a disponibilização do óleo na água, o comportamento de sua deriva foi acompanhado por 30 dias. Portanto ao final das simulações foram totalizados 60 dias (1440 horas).

Além da simulação de *blow-out*, na qual é considerado o volume de pior caso (15.120 m³), foram ainda realizadas simulações para vazamentos de pequeno e médio volume, 8 m³ e 200 m³, respectivamente. Nesses casos as simulações duraram 30 dias.

Em todas as simulações considerou-se como critério de existência de óleo espessuras maiores ou iguais ao limiar de 3×10^{-7} metros (limiar de detecção) (ELPN/IBAMA, 2002).

A seguir, nas Tabelas 1 e 2, serão apresentadas as características do óleo e do vazamento.

Tabela 1: Características do óleo utilizadas na simulação.

Parâmetro	Valor	Unidade	Temperatura
API	17		
Densidade	0,9575	g/cm ³	15° C
Viscosidade	24	Cp	68° C

Tabela 2: Local do Vazamento.

Longitude	41° 25' 38,64" W
Latitude	23° 28' 29,30" S

A seguir serão apresentadas as forçantes utilizadas durante a simulação probabilística.

IV. FORÇANTES

Os dados de vento utilizados são provenientes das reanálises do NCEP – *National Centers for Environmental Prediction* – (Kalnay *et al.*, 1996). Essa base consiste em uma série de dados meteorológicos, com aproximadamente 1,8° de resolução espacial na região do estudo. Os dados disponíveis no NCEP cobrem todo o globo e estão disponíveis gratuitamente na internet (<http://www.ncep.noaa.gov>).

Para este estudo foram tratados 59 anos de dados (1948 a 2006) com uma frequência temporal de 6 horas (4 dados por dia).

A seguir, são apresentadas as rosas dos ventos, elaboradas para o período analisado, na região do Bloco BM-C-41 (Figura 4 e Figura 5).

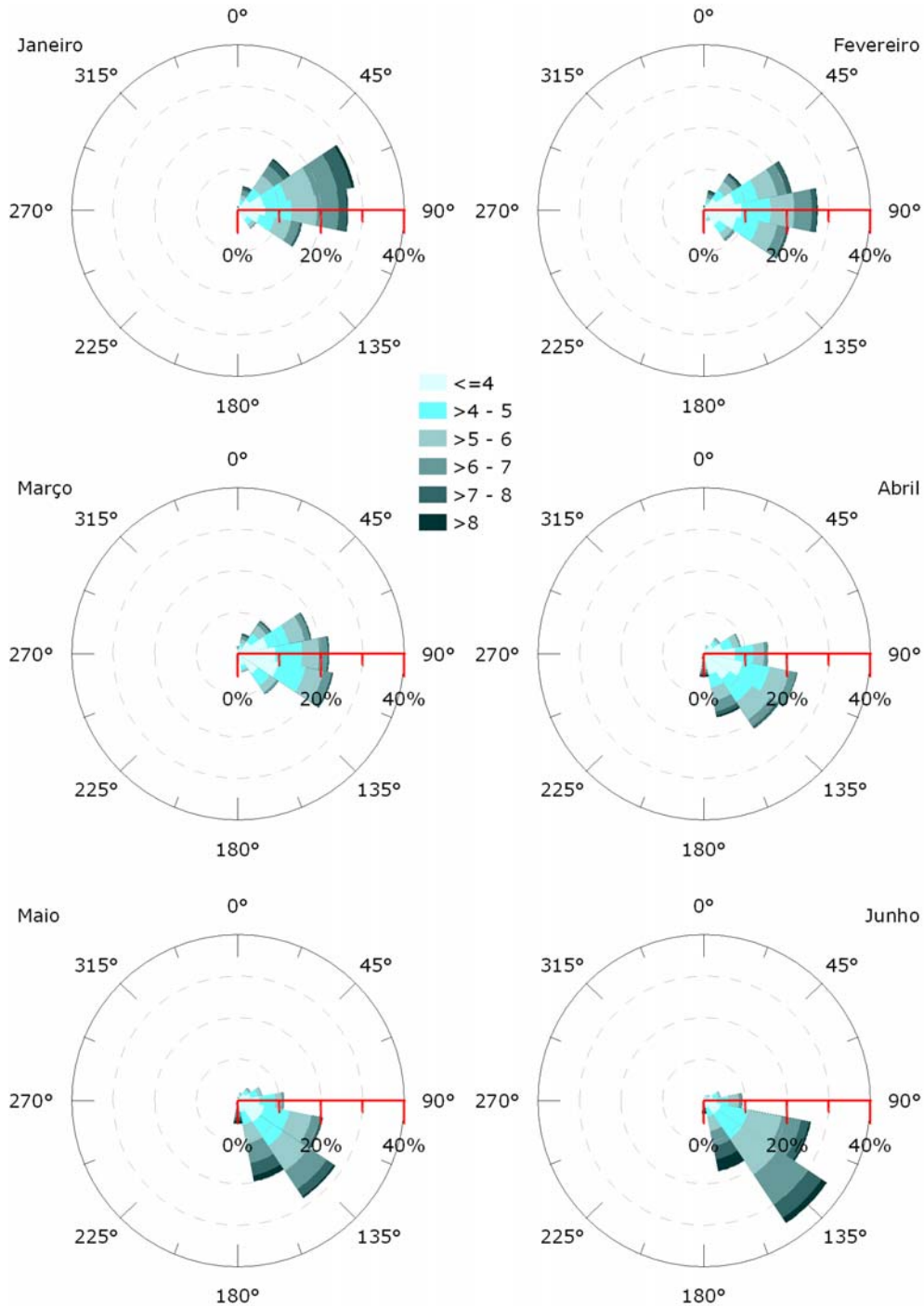


Figura 4: Rosa dos ventos para o período entre janeiro e junho na região do Bloco BM-C-41.

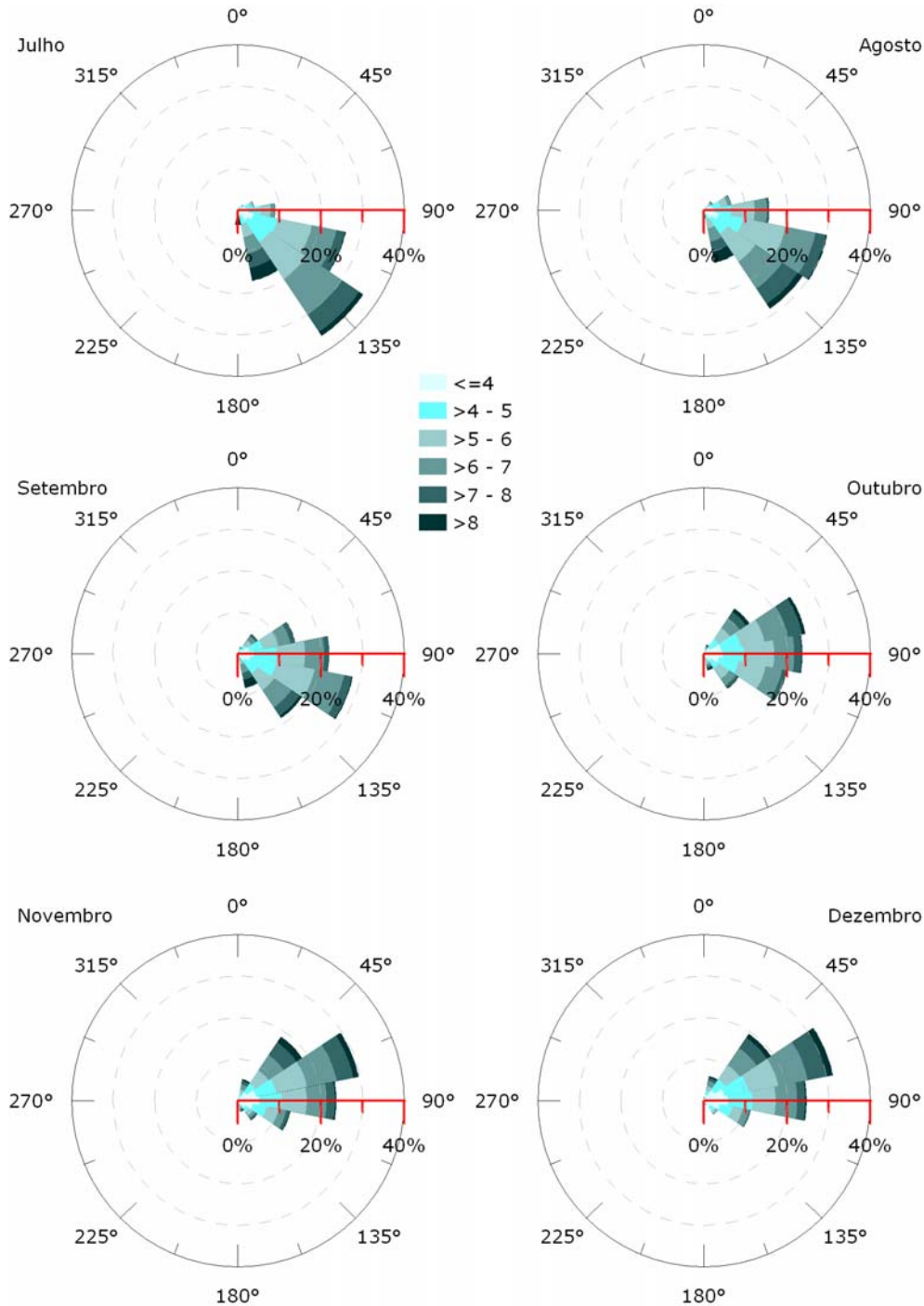


Figura 5: Rosa dos ventos para o período entre julho e dezembro na região do Bloco BM-C-41.

A análise mensal dos dados de vento possibilitou a caracterização de dois períodos bem marcados, com condições de inverno e verão, como pode ser observado na Figura 4 e na Figura 5.

O período que se estende de outubro a fevereiro é marcado por condições de verão. Neste período são observados ventos intensos e freqüentes do octante NE-E, com os meses de novembro e dezembro apresentando maiores persistências dos ventos de NE. Também são observados ventos no quadrante E-SE, porém esses são menos intensos e freqüentes.

O período caracterizado como sendo de inverno estende-se de março a setembro e apresenta ventos intensos e freqüentes com direções E-SE, destacando-se os meses de junho e julho como os ventos mais intensos.

Os dados de correntes utilizados foram obtidos da base de dados da PROOCEANO. Nesse estudo foi analisada uma série temporal de 1 ano de dados, sendo utilizado na modelagem um período de 6 meses, característicos para cada situação sazonal.

Uma descrição detalhada dos mesmos encontra-se no Relatório de Modelagem Hidrodinâmica, onde é descrita a dinâmica oceânica dessa região.

IV.1. Variabilidade Ambiental

Com o objetivo de avaliar a variabilidade das escalas temporais transientes presentes nos dados de ventos analisados e utilizados nesse trabalho, foi realizada uma análise de zeros ascendentes (*zero-up-crossing*). Essa análise consiste na identificação dos momentos ao longo de toda série onde as componentes do vento trocam de sinal (de negativo para positivo). Os resultados podem ser observados na Figura 6.

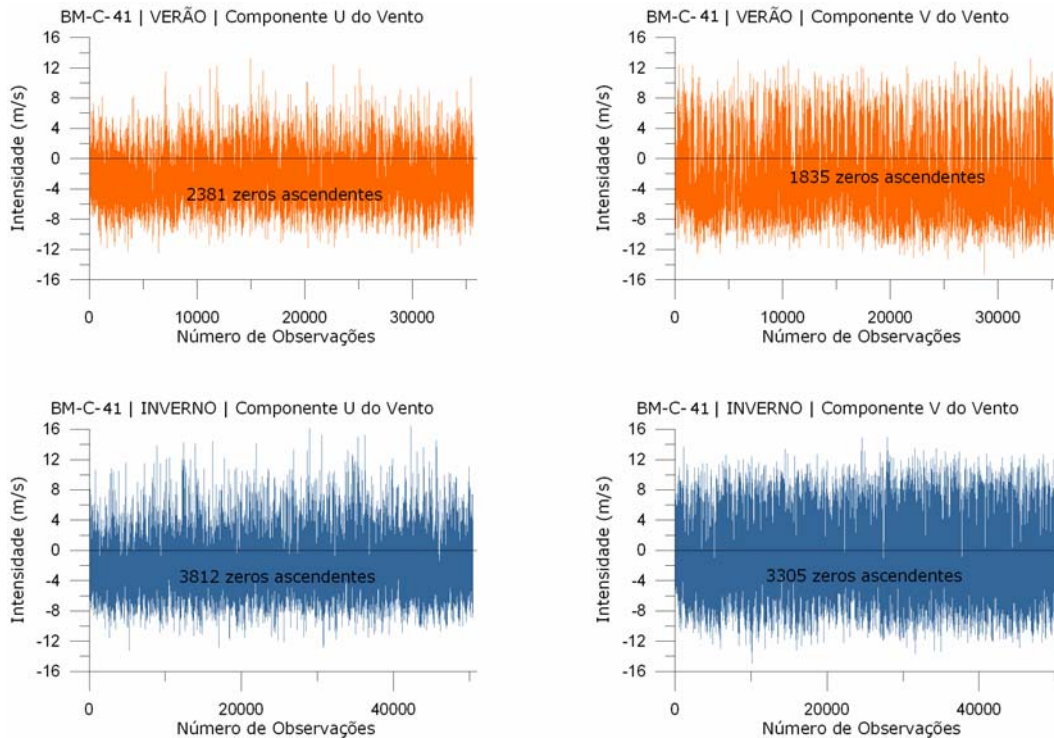


Figura 6: Séries temporais das componentes “u” e “v”, do vento, para a região do bloco BM-C-41, com o número de zeros ascendentes presentes nas séries. Fonte: Reanálise NCEP.

Podemos observar que no cenário de inverno o número de zeros ascendentes, nas duas componentes “u” e “v”, foram maiores que no cenário de verão.

Considerando que o intervalo entre as medições é de 6 horas, chegamos a uma escala mínima de variabilidade significativa de aproximadamente 5 dias para o cenário de verão e 4 dias para o cenário de inverno.

Assim, para uma correta representação dessa variabilidade na modelagem probabilística de óleo, seguindo a metodologia proposta por Elliott (2004), o número mínimo de simulações aconselhável, para o cenário de verão seria de 2.381 simulações e para o cenário de inverno 3.812 simulações.

Para garantir a compreensão da variabilidade presente, de forma conservadora foram realizadas 3.800 simulações para cada período (inverno e verão).

V. RESULTADOS

A seguir serão apresentados os mapas de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada para as simulações de vazamentos de 8, 200 e 15.120 m³, para os cenários de verão e inverno.

Para a obtenção destes resultados foram realizadas 3.800 diferentes simulações para cada cenário (verão e inverno) nos diferentes volumes de vazamento 8, 200 e 15.120 m³, totalizando 22.800 possíveis cenários ambientais de vazamento.

O cenário de pior caso, para ser simulado no modo determinístico, será definido através da análise dos resultados sazonais, sendo escolhida situação onde o óleo atinja a costa no menor período de tempo possível após o início do vazamento.

O intemperismo do óleo será apresentado ao final do estudo, através de gráficos que apresentam o balanço de massa do constituinte, ao longo da simulação.

V.1. Modo Probabilístico

V.1.1. Vazamento de 8m³

V.1.1.1. Verão

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo para o vazamento de 8 m³ no cenário de verão é apresentado na Figura 7, enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 8.

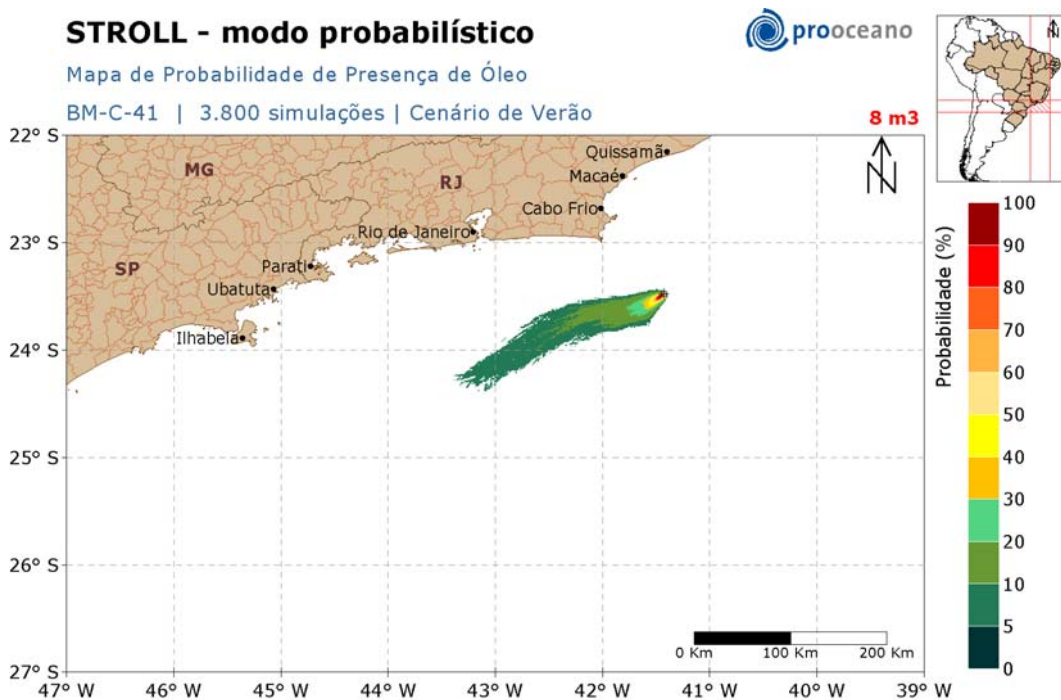


Figura 7: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 8 m³, no cenário de verão.

Neste cenário a deriva do óleo ocorre para sudoeste do poço.

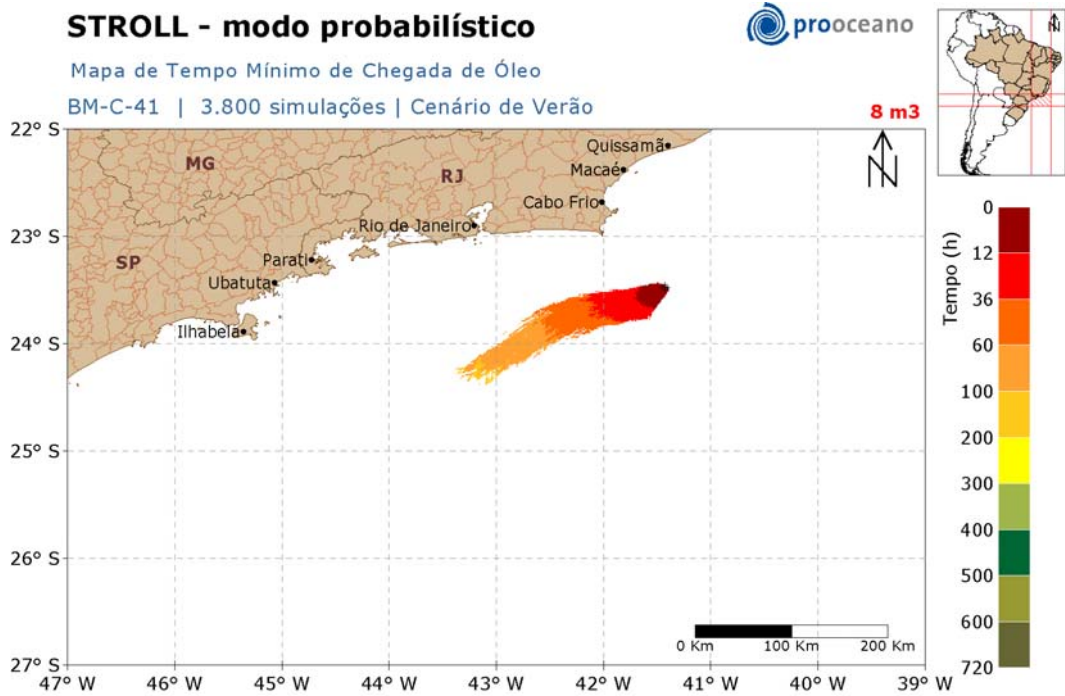


Figura 8: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo, para vazamento de 8 m³, no cenário de verão.

Observa-se que após 60-100 horas do início do vazamento todo o Mapa de Probabilidade é atingido.

V.1.1.2. Inverno

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo para o vazamento de 8 m³ no cenário de inverno encontra-se na Figura 9 enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 10.

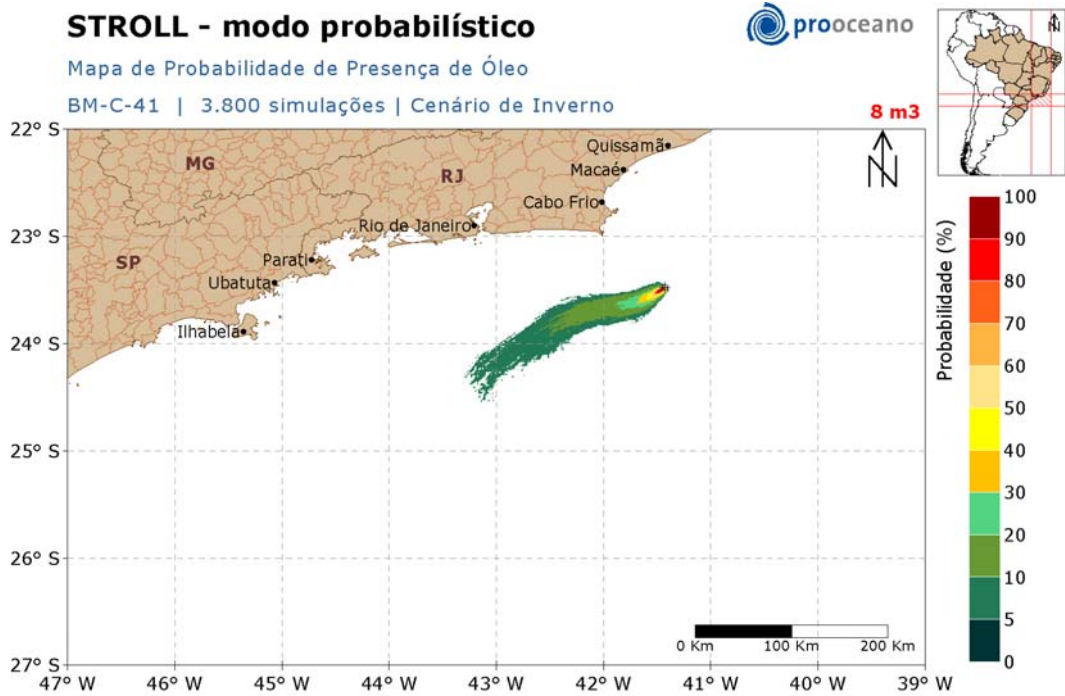


Figura 9: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 8 m³, no cenário de inverno.

No cenário de inverno, ocorre o mesmo que no cenário de verão, a deriva do óleo é para sudoeste do poço.

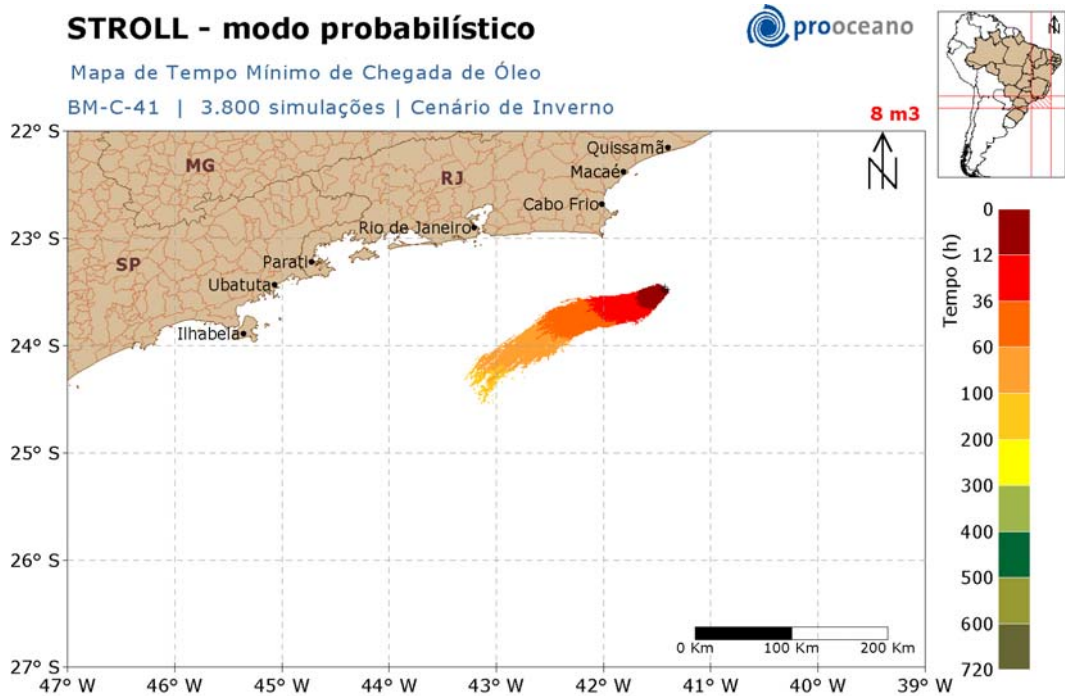


Figura 10: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo, para vazamento de 8 m³, no cenário de inverno.

Observa-se que o Mapa de Probabilidade é atingido em sua totalidade em 60-100 horas após o início do vazamento.

V.1.2. Vazamento de 200m³

V.1.2.1. Verão

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo para o vazamento de médio porte (200 m³), no cenário de verão, encontra-se na Figura 11 enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 12.

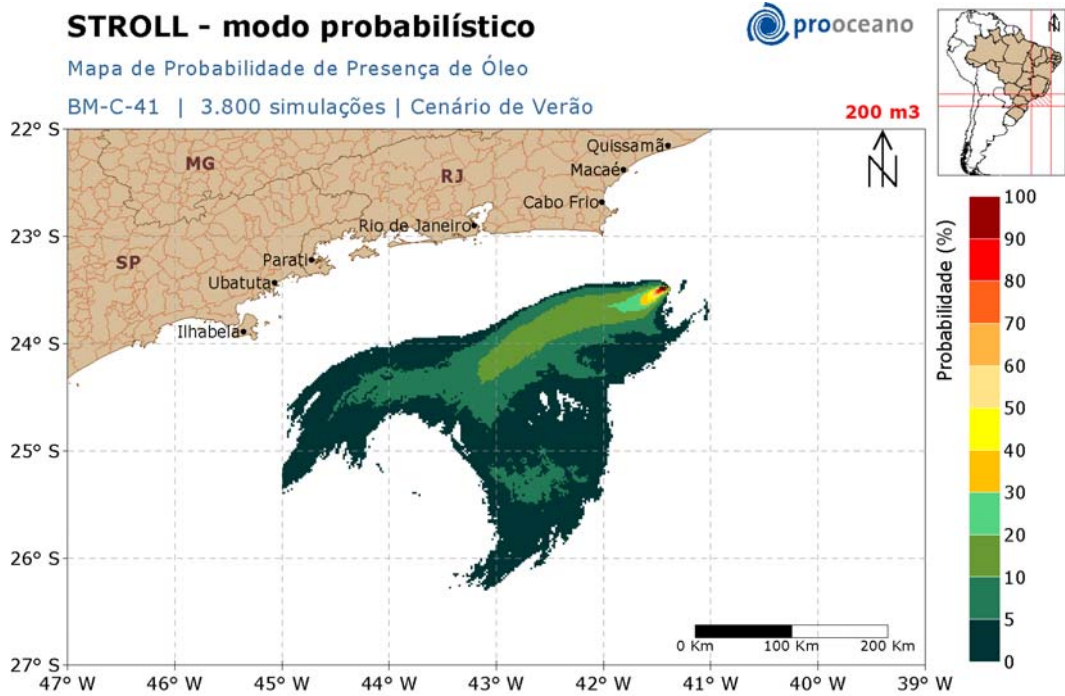


Figura 11: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 200 m³, no cenário de verão.

Podemos observar no Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo, que a deriva do óleo é preferencial para sul/sudoeste do poço.

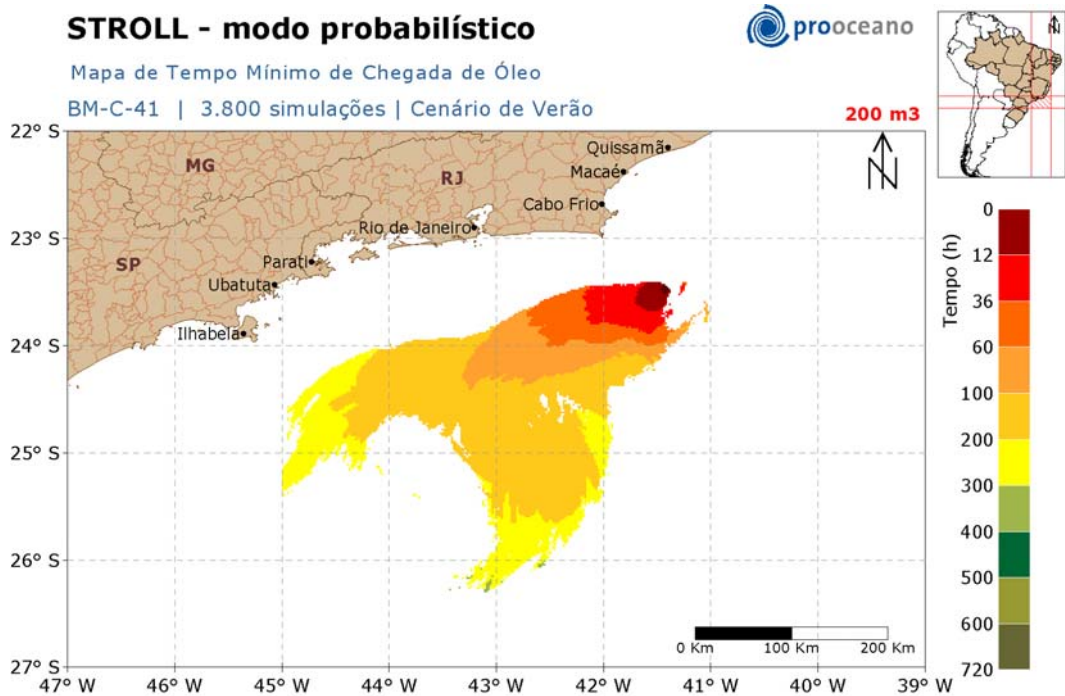


Figura 12: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo, para vazamento de 200 m³, no cenário de verão.

Observa-se na Figura 12 que o Mapa de Tempo Mínimo de Chegada do Óleo foi atingido em sua totalidade de 200-300 horas após o início da simulação.

V.1.2.2. Inverno

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo para o vazamento de 200 m³ no cenário de inverno encontra-se na Figura 13 enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 14.

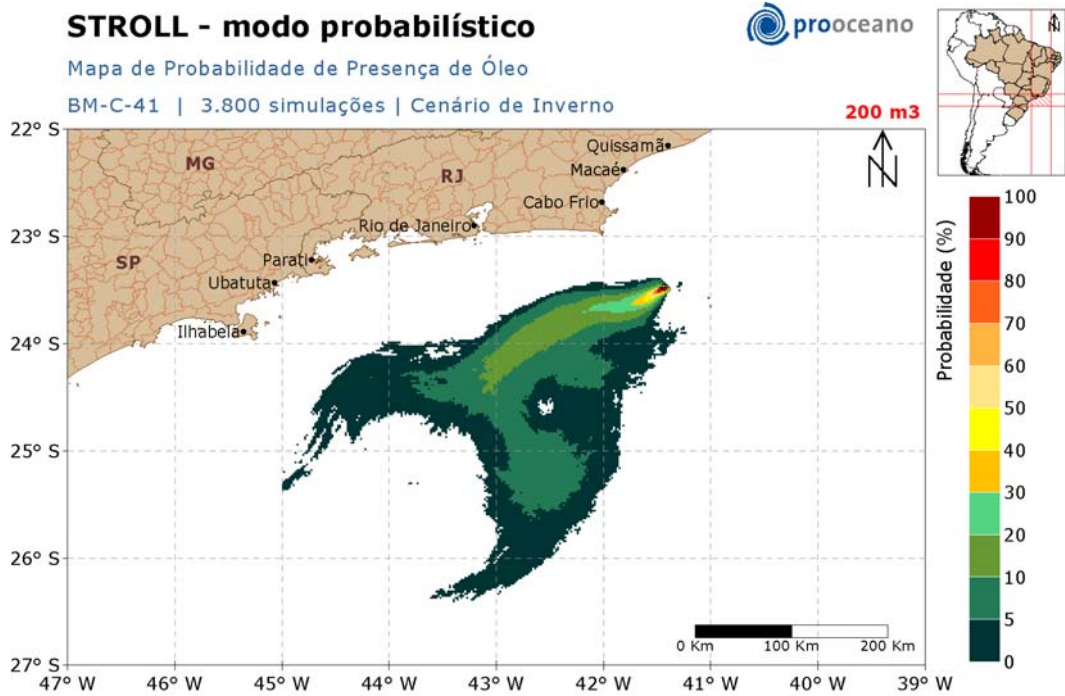


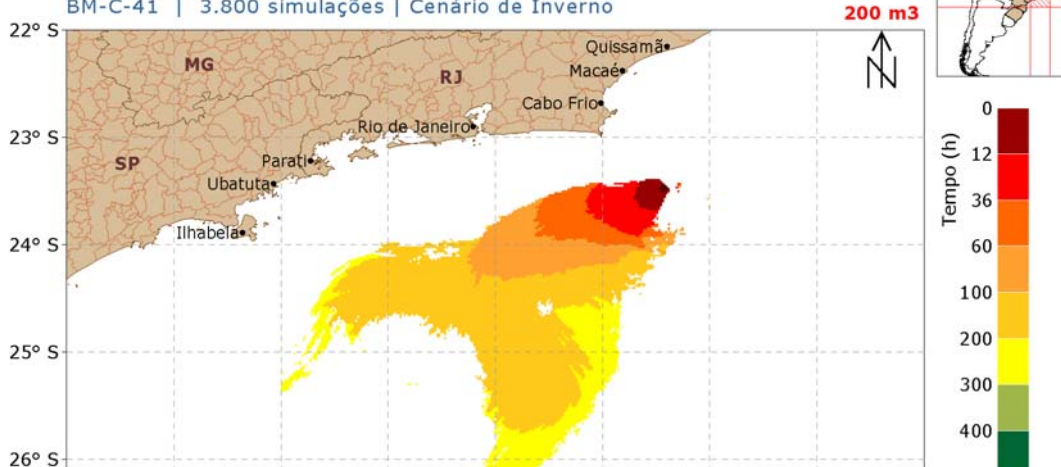
Figura 13: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 200 m³, no cenário de inverno.

Nesse cenário a deriva do óleo também foi preferencial para sul/sudoeste do poço.

STROLL - modo probabilístico



Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo
 BM-C-41 | 3.800 simulações | Cenário de Inverno



STROLL - modo probabilístico



Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo
 Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações
 BM-C-41 | Cenário de Verão

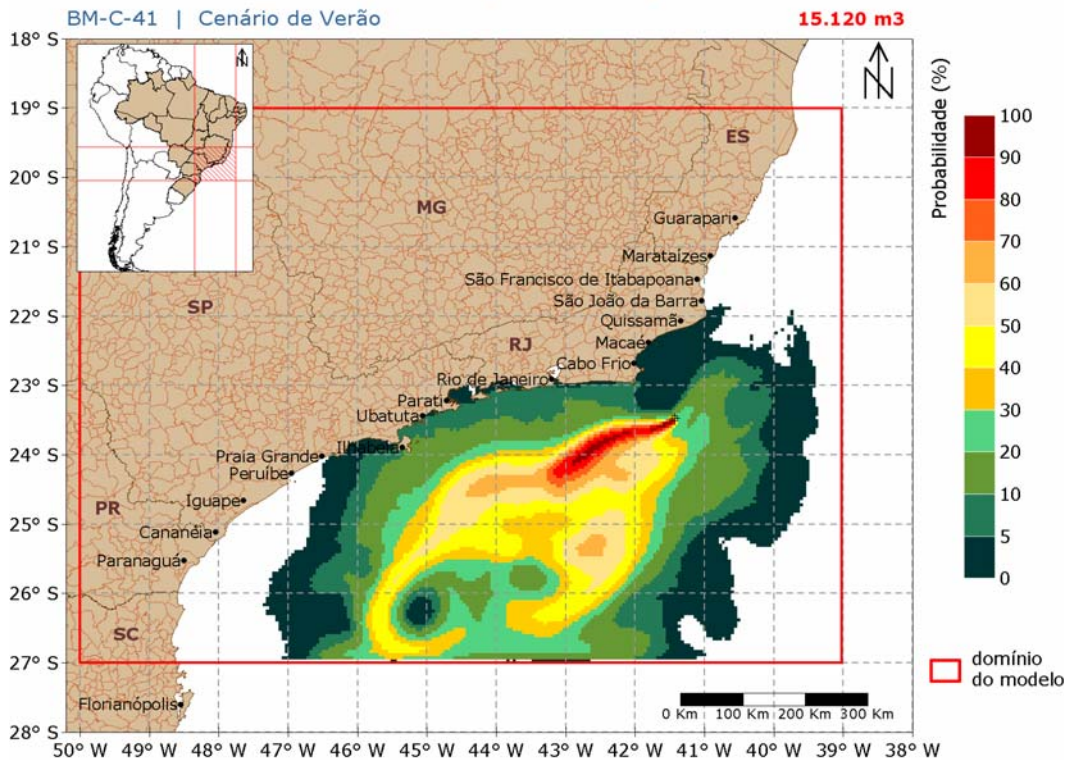


Figura 15 a Figura 18.

STROLL - modo probabilístico



Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-41 | Cenário de Verão

15.120 m3

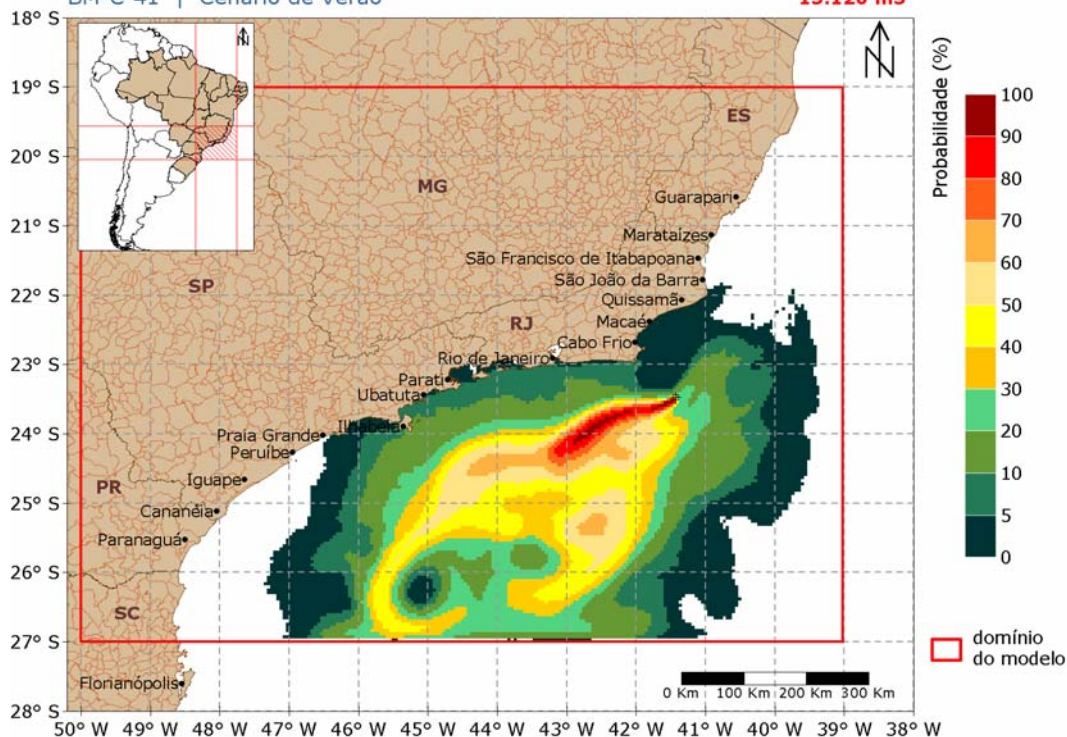


Figura 15: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de verão.

A deriva do óleo ocorre preferencialmente para sul/sudoeste do poço, porém derivas para norte/nordeste também são observadas. O toque na costa ocorre de São João da Barra no Estado do Rio de Janeiro até Praia Grande no Estado de São Paulo.

STROLL - modo probabilístico



Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-41 | Cenário de Verão

15.120 m³

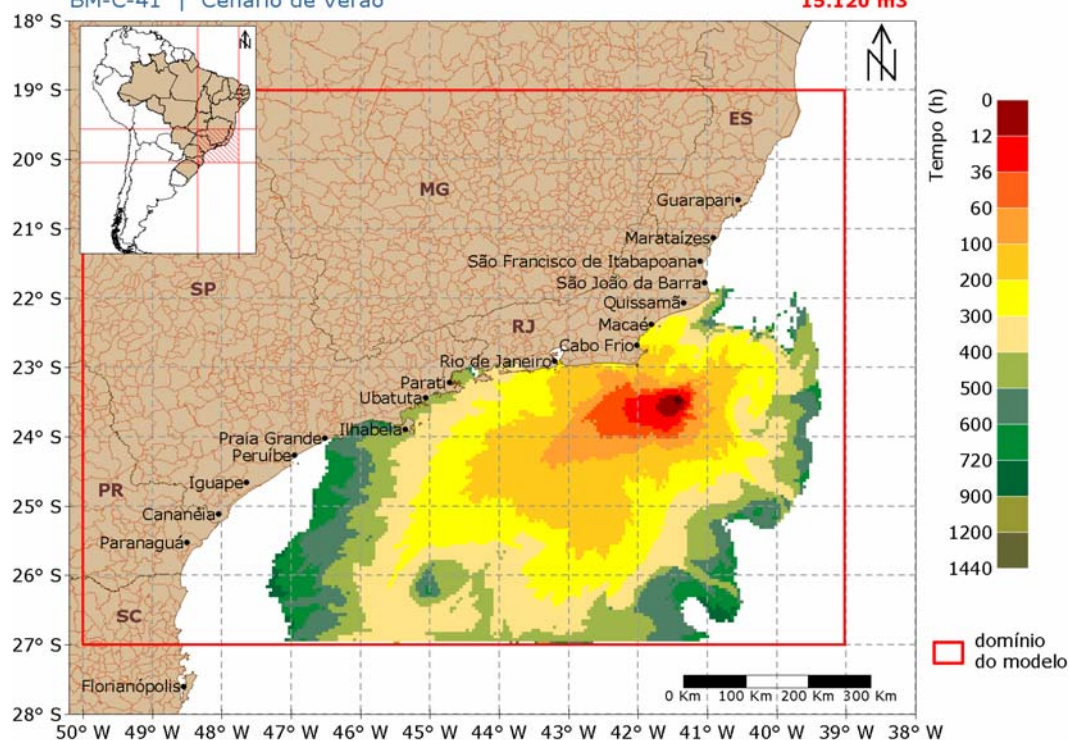


Figura 16: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de verão.

O tempo mínimo de toque na costa, nesse cenário, ocorre entre 100-200 horas no Estado do Rio de Janeiro. O Estado de São Paulo é atingido em 300-400 horas após o início do vazamento.

STROLL - modo probabilístico

Volume Máximo de Óleo na Costa

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-41 | Cenário de Verão

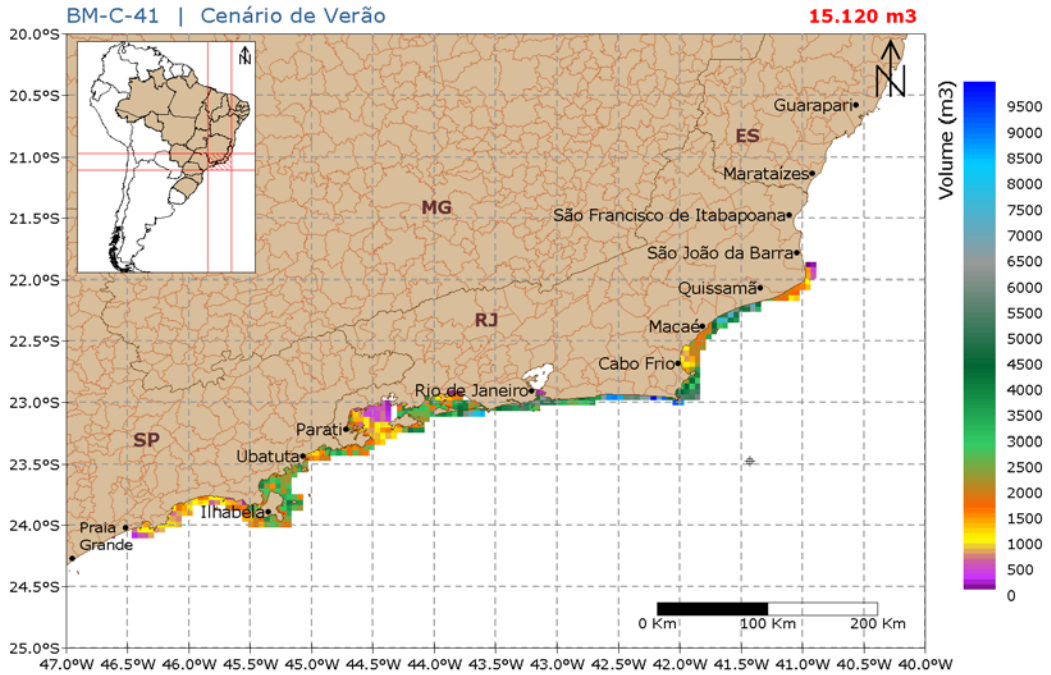


Figura 17: Volume máximo de óleo na costa, após as simulações de 60 dias no cenário de verão.

Ao analisarmos o volume máximo de óleo que atinge a costa, observamos que as áreas que tiveram o menor tempo mínimo de chegada de óleo na costa apresentaram os maiores volumes, essas áreas estão situadas nas proximidades de Arraial do Cabo - RJ.

Para uma melhor análise dos tempos de chegada de óleo na costa, foram gerados histogramas com as frequências de ocorrência das classes de tempo e fração de massa na costa para toda a simulação probabilística (Figura 18). O gráfico de probabilidade com os histogramas de tempo de chegada facilita a análise conjunta dos resultados.

STROLL - Modo Probabilístico

Histogramas de Tempo de Chegada de Óleo

BM-C-41 | Cenário de Verão

15.120 m³

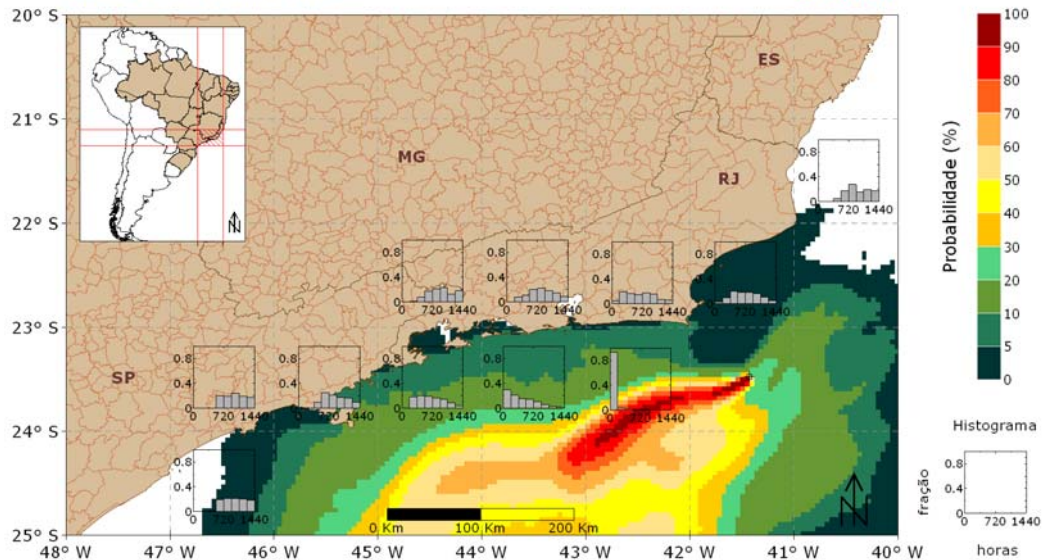


Figura 18: Histogramas de tempo de chegada de óleo próximo à costa no cenário de verão.

Os histogramas de tempo de chegada, no cenário de verão, mostram que nas regiões mais próximas ao local de vazamento os tempos de chegada ocorrem antes da metade da simulação (720h). Seguindo para oeste na costa, os tempos de chegada aumentam progressivamente.

V.1.3.2. Inverno

A seguir, nas Figura 19 a Figura 22, serão apresentados os resultados obtidos no período de inverno para um cenário de *blow-out*, volume vazado de 15.120 m³.

STROLL - modo probabilístico



Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-41 | Cenário de Inverno

15.120 m3

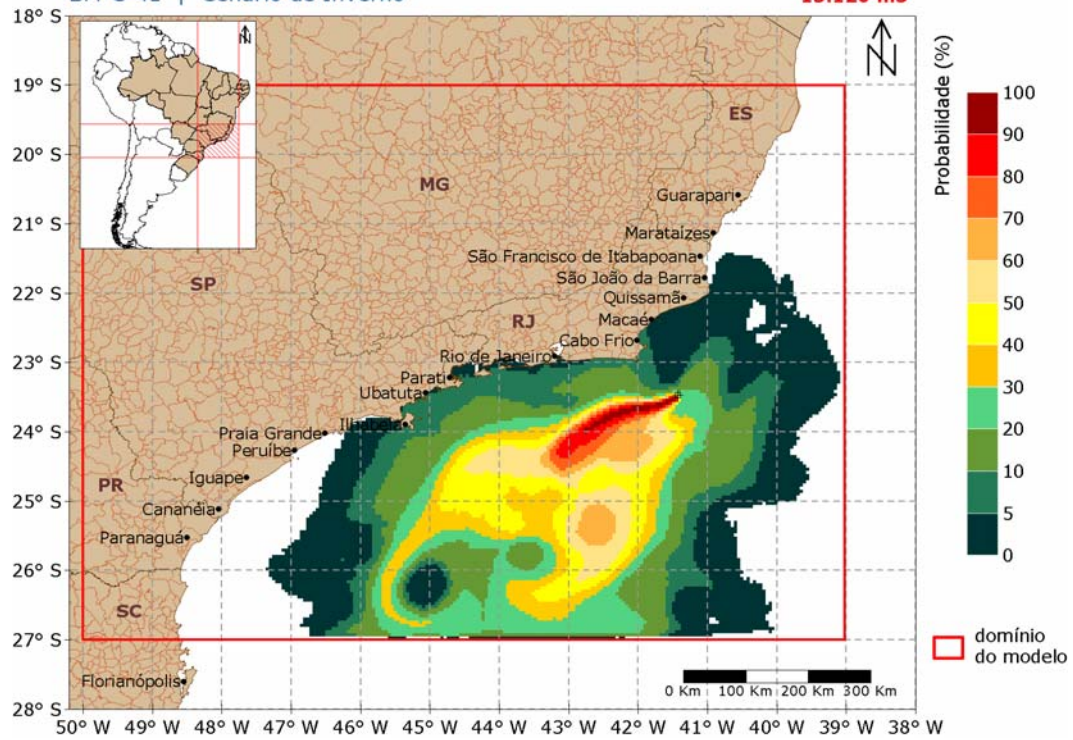


Figura 19: Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de inverno.

Nesse cenário a deriva do óleo na direção sudoeste foi menor que o observado no cenário de verão. O toque na costa estende-se de São João da Barra no Estado do Rio de Janeiro até Guarujá no Estado de São Paulo.

STROLL - modo probabilístico



Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-41 | Cenário de Inverno

15.120 m³

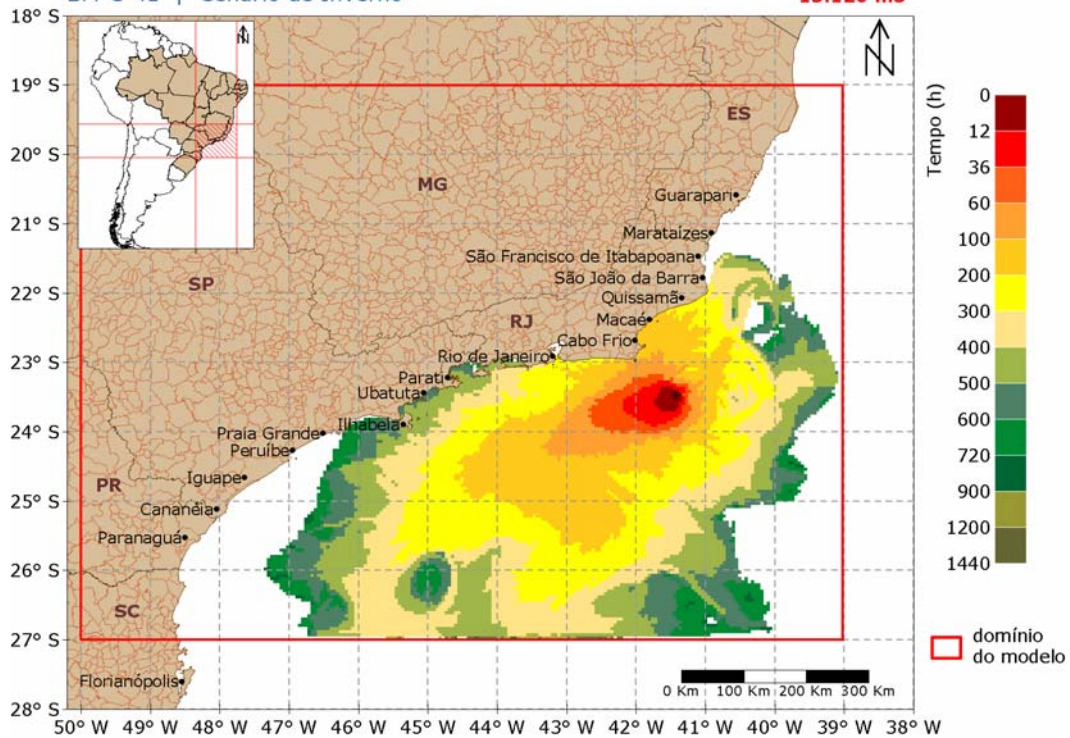


Figura 20: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de óleo, para vazamento de 15.120 m³, no cenário de inverno.

No cenário de Inverno o tempo mínimo de chegada de óleo é menor, 60-100 horas, na região de Arraial do Cabo – RJ. O Estado de São Paulo, entre 400-500 horas, tem probabilidade de apresentar óleo em sua costa.

Observa-se que algumas trajetórias são cortadas na fronteira oeste (canto inferior esquerdo do domínio do modelo) e na fronteira sul. As trajetórias que são cortadas na fronteira sul são irrelevantes para regiões de toque na costa, uma vez que dirigem-se para regiões *off-shore*. As trajetórias que são cortadas na fronteira oeste, por sua vez, poderiam, atingir a região costeira do Estado do Paraná e Santa Catarina.

No entanto é importante ressaltar que a probabilidade de presença de óleo observada nessa região do mapa restringe-se ao intervalo entre 5-0%, em ambos os cenários.

Outro aspecto importante a ser ressaltado é o fato de que o aumento significativo dos domínios espaciais modelados, em função do tempo de deriva do óleo (60 dias), faz com que haja um grande aumento no esforço computacional envolvido na correta solução do modelo. Esse esforço (a saber: memória RAM, tempo computacional e manipulação dos arquivos gerados) aumenta, no mínimo, exponencialmente, com o aumento do tamanho da grade. Em contrapartida, uma redução na resolução espacial, que diminuiria o esforço computacional, faz com que importantes processos, principalmente os que ocorrem próximos ao local de vazamento, não sejam corretamente representados.

Para minimizar esse problema potencial, na escolha do domínio do modelo em questão, foi realizada uma ponderação de perdas e ganhos, em termos de resolução espacial e consequente melhor representação da comportamento do óleo nas regiões adjacentes ao local de vazamento, bem como de sua deriva e seu alcance, após os 60 dias de simulação.

Diante do exposto, acredita-se que embora algumas trajetórias do óleo tenham sido cortadas, o uso do resultado final da modelagem apresentada, como base para tomada de decisões em outros itens do estudo, não é, de forma alguma, comprometido.

STROLL - modo probabilístico



Volume Máximo de Óleo na Costa

Blow-out 30 dias | simulação 60 dias | 3.800 simulações

BM-C-41 | Cenário de Inverno

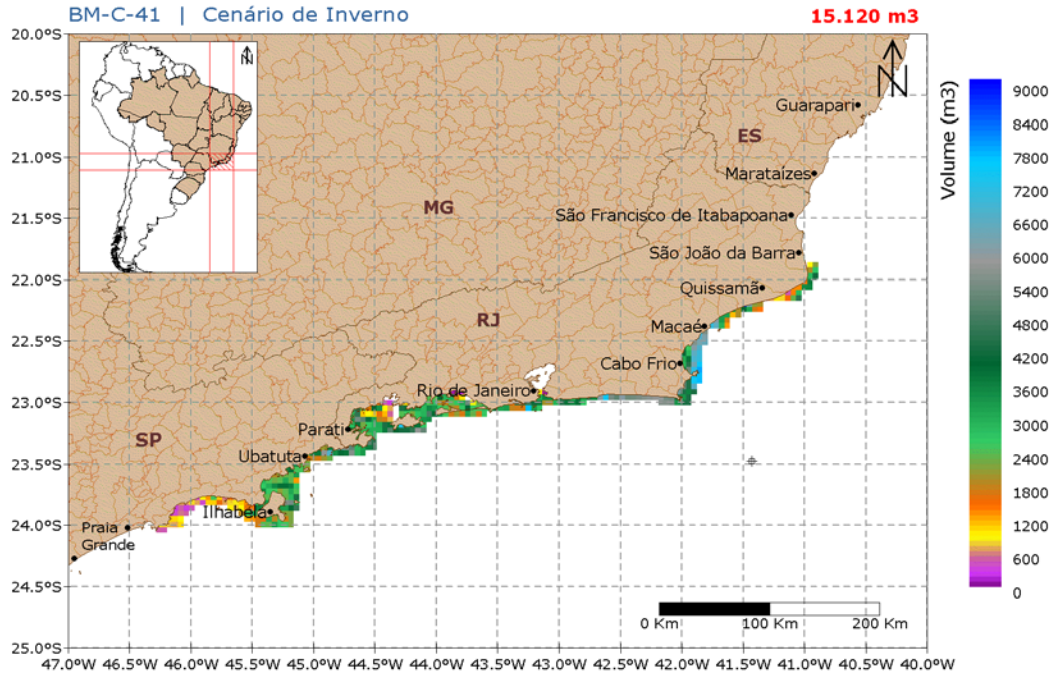


Figura 21: Volume máximo de óleo na costa no cenário de inverno.

Assim como no cenário de verão, neste cenário, os maiores volumes máximos encontram-se nas proximidades de Cabo Frio – RJ.

Para uma melhor análise dos tempos de chegada de óleo na costa, foram gerados histogramas com as frequências de ocorrência das classes de tempo e fração de massa na costa para toda a simulação probabilística (Figura 22).

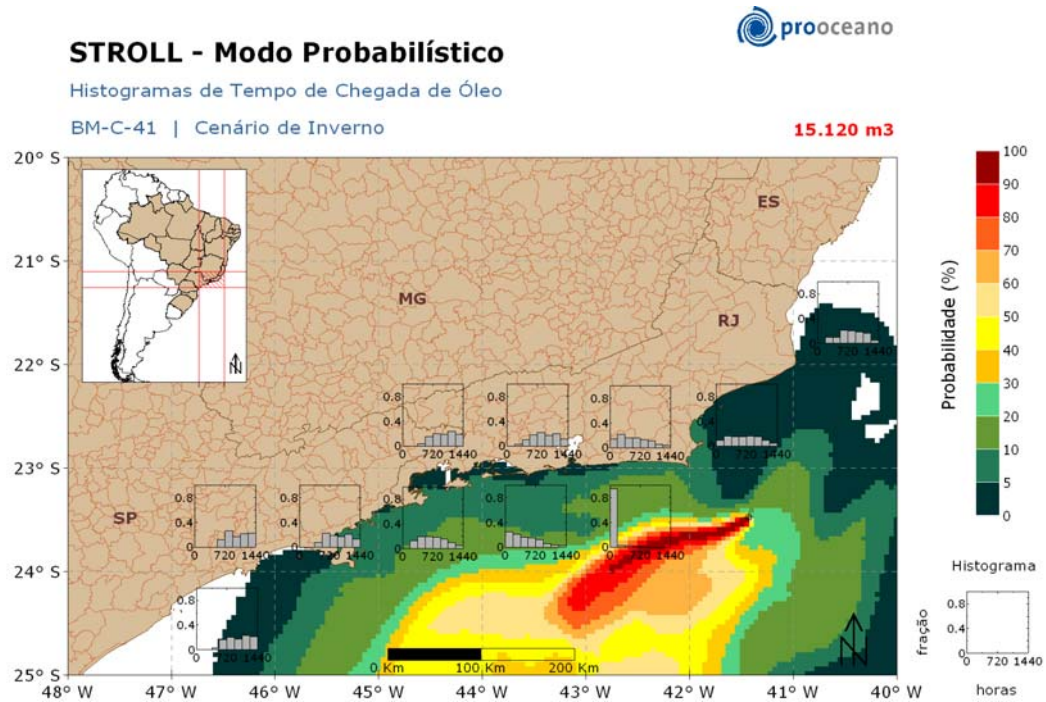


Figura 22: Histogramas de tempo de chegada de óleo próximo à costa no cenário de inverno.

No cenário de inverno observa-se um resultado semelhante ao cenário de verão, com o tempo de chegada aumentando em relação à distância do local de vazamento.

A seguir, na Tabela 3, serão apresentados os volumes máximos, as classes de probabilidade e tempo mínimo de chegada de óleo de cada município com possibilidade de serem atingidos pelo óleo em um evento de *blow-out*.

Tabela 3: Volume Máximo, Probabilidade de presença e Tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de presença de óleo em um evento de *blow-out* nos cenários de verão e inverno.

MUNICÍPIOS	Volume Máximo (m ³)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo de Toque (h)	
	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO
São João da Barra	1520	2024	5-0	5-0	400-500	300-400
Campos dos Goytacazes	1951	2963	5-0	5-0	300-400	200-300
Quissamã	7406	6311	5-0	5-0	300-400	100-200
Carapebus	7400	3574	5-0	5-0	300-400	100-200
Macaé	7750	7105	5-0	5-0	200-300	100-200
Rio das Ostras	2300	5665	5-0	10-5	200-300	100-200
Casimiro de Abreu	1015	4240	5-0	10-5	200-300	100-200
Armação dos Búzios	3942	8011	5-0	10-5	100-200	100-200
Cabo Frio	8585	5445	10-5	10-5	100-200	100-200
Arraial do Cabo	9987	6000	10-5	10-5	100-200	60-100
Araruama	6800	5700	5-0	10-5	200-300	100-200
Saquarema	8987	7621	5-0	10-5	100-200	100-200
Maricá	4415	4584	5-0	10-5	100-200	200-300
Niterói	6358	3681	5-0	5-0	100-200	200-300
Rio de Janeiro	6100	7827	10-5	10-5	200-300	200-300
Itaguaí	1350	3063	5-0	5-0	300-400	400-500
Mangaratiba	3905	4068	5-0	5-0	300-400	400-500
Angra dos Reis	3905	4075	5-0	5-0	300-400	500-600
Ilha Grande (Angra dos Reis)	4790	7378	10-5	10-5	300-400	400-500
Parati	2766	5494	10-5	10-5	300-400	400-500
Ubatuba	3483	6848	10-5	10-5	400-500	400-500
Caraguatatuba	4975	3608	10-5	10-5	400-500	500-600
Ilhabela	3792	5629	20-10	10-5	300-400	400-500
São Sebastião	3788	3766	10-5	10-5	400-500	500-600
Bertioga	1807	867	5-0	5-0	500-600	600-720
Guarujá	873	858	5-0	5-0	500-600	600-720
Santos	1425	-	5-0	-	600-720	-
São Vicente	1425	-	5-0	-	600-720	-
Praia Grande	1086	-	5-0	-	600-720	-

V.2. Modo Determinístico

Com base nos resultados obtidos nas simulações probabilísticas foi identificado o cenário de pior caso para ocorrência de um evento de *blow-out* decorrente da atividade de perfuração no bloco BM-C-41. O cenário que apresentou o menor tempo mínimo de toque na costa foi o de inverno, este ocorre entre 60-100 horas, portanto será apresentada uma trajetória de pior caso ocorrida no cenário de inverno.

Na Figura 23 à Figura 36 são apresentados instantâneos com os resultados da simulação da dispersão de óleo realizada para a situação escolhida. São também mostrados nas figuras os campos de vento e correntes que transportaram o óleo nesse cenário.

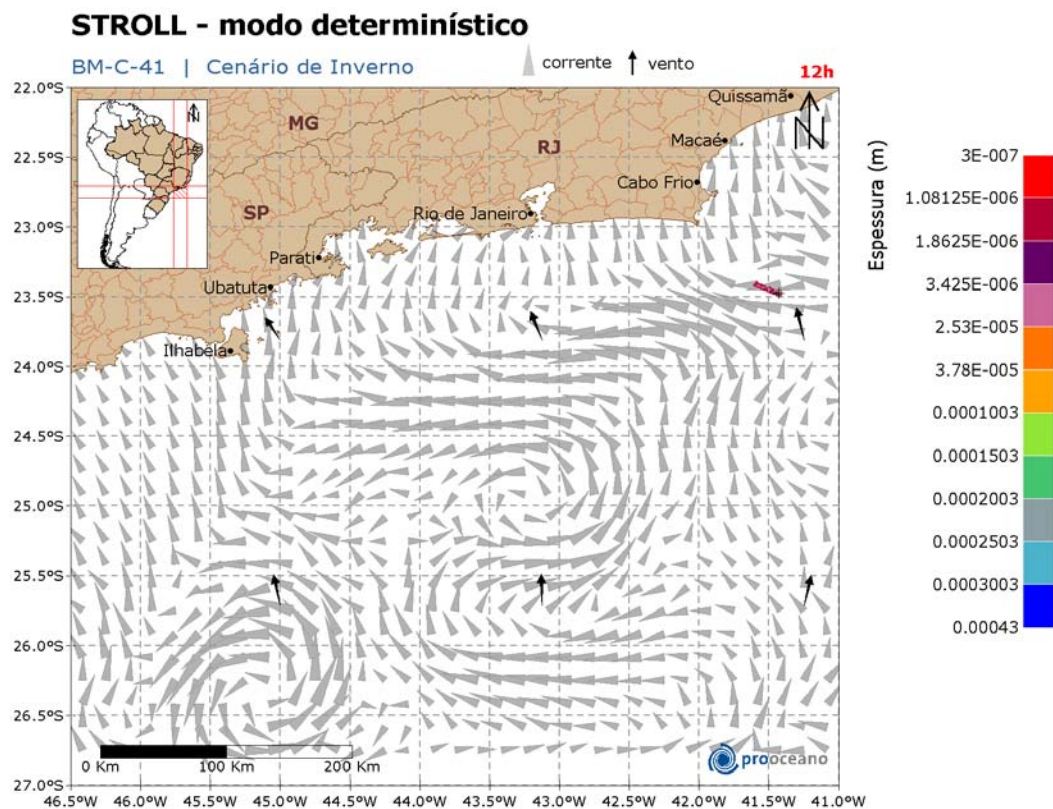


Figura 23: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 12 horas de simulação.

STROLL - modo determinístico

BM-C-41 | Cenário de Inverno

corrente ↑ vento

36h

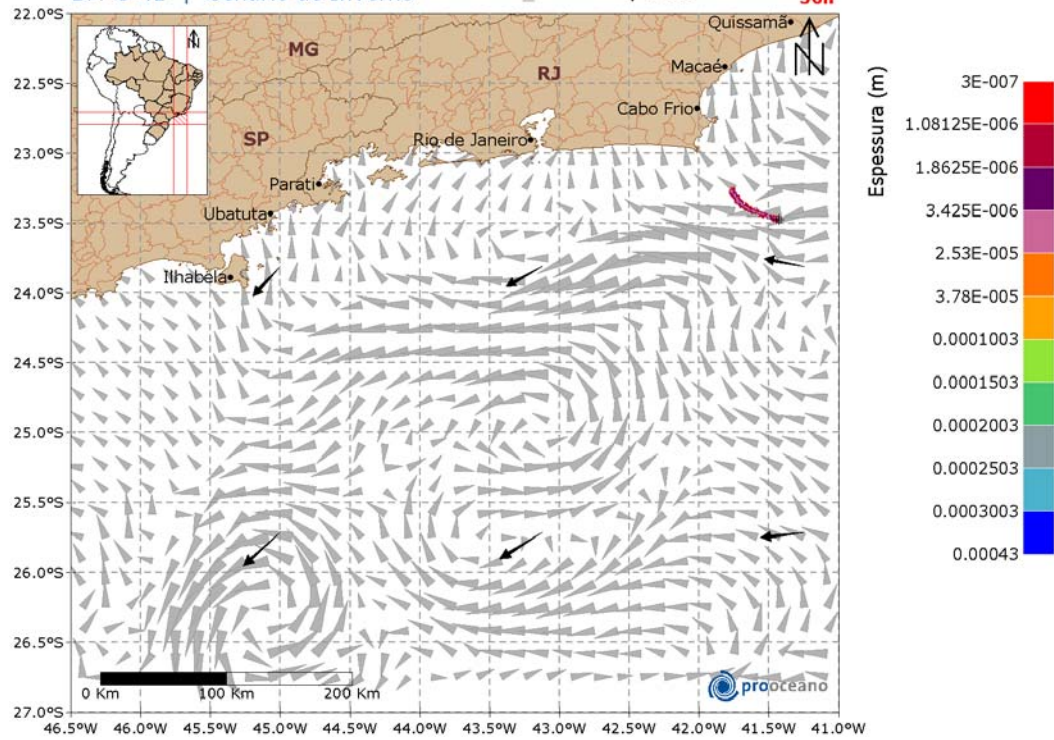


Figura 24: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 36 horas de simulação.

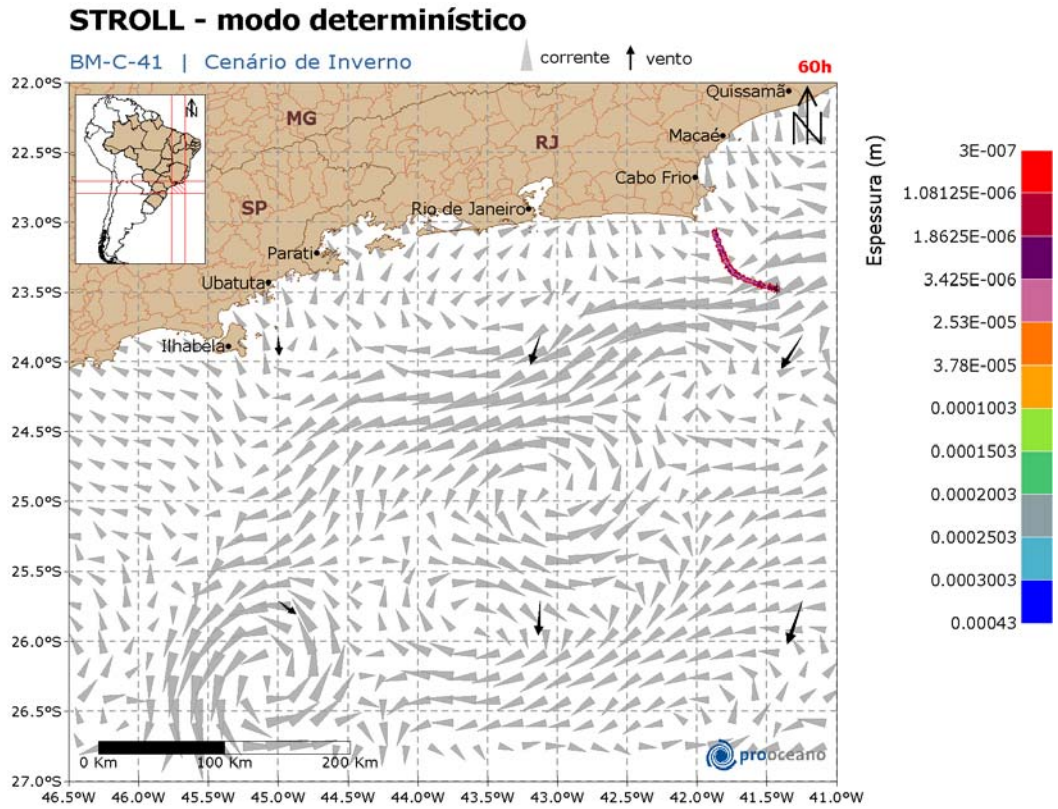


Figura 25: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 60 horas de simulação.

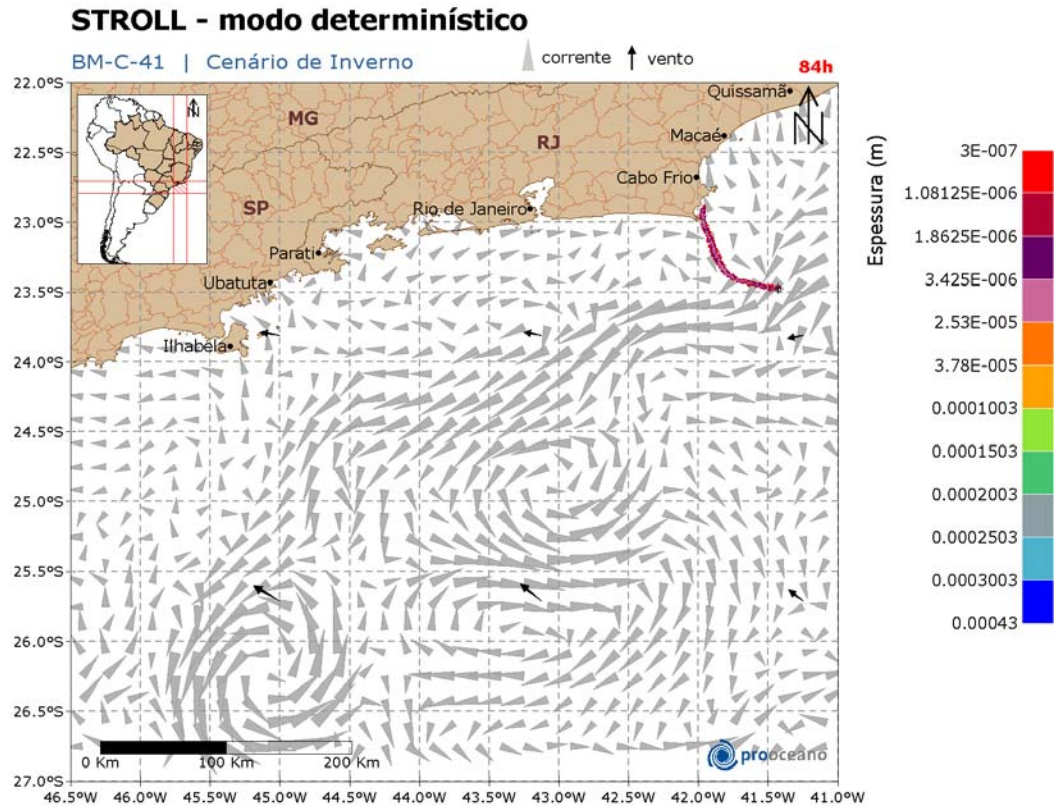


Figura 26: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 84 horas de simulação.

STROLL - modo determinístico

BM-C-41 | Cenário de Inverno

corrente ↑ vento

120h

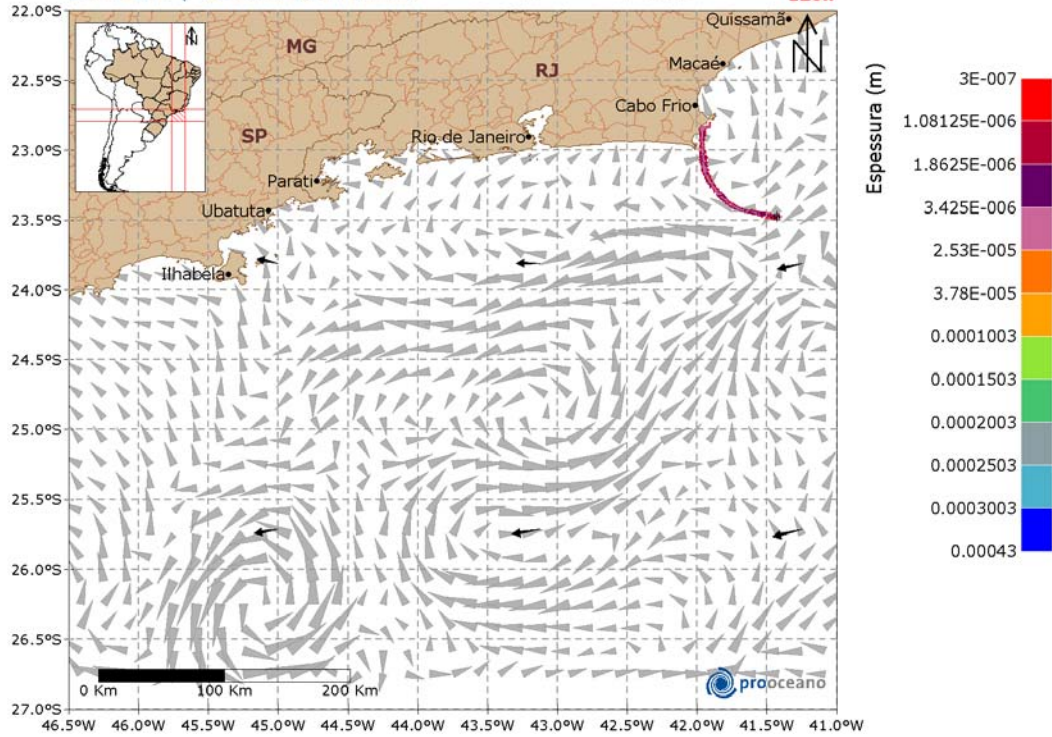


Figura 27: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 120 horas de simulação.

STROLL - modo determinístico

BM-C-41 | Cenário de Inverno

corrente ↑ vento

200h

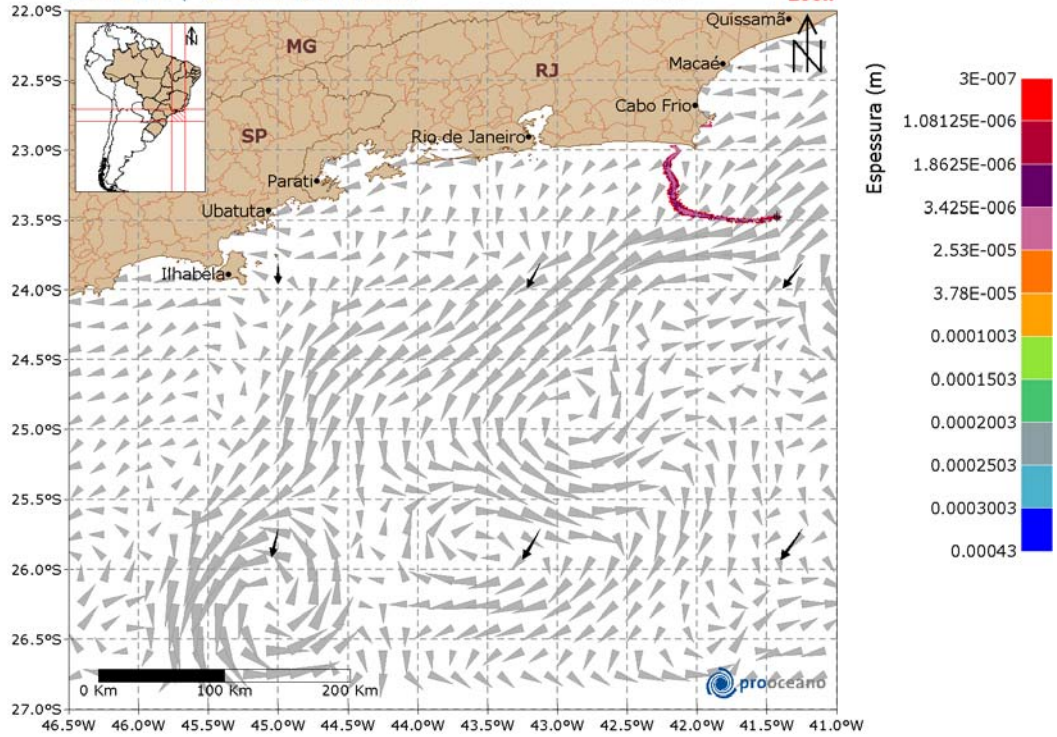


Figura 28: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 200 horas de simulação.

STROLL - modo determinístico

BM-C-41 | Cenário de Inverno

corrente ↑ vento

300h

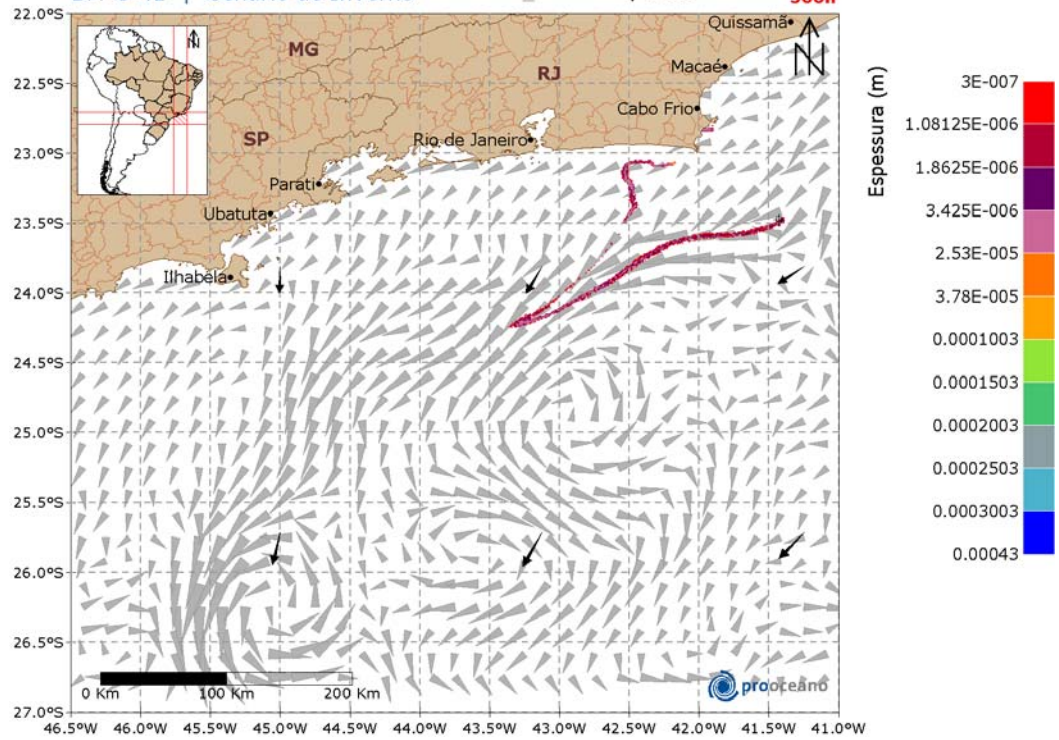


Figura 29: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 300 horas de simulação.

STROLL - modo determinístico

BM-C-41 | Cenário de Inverno

corrente ↑ vento

400h

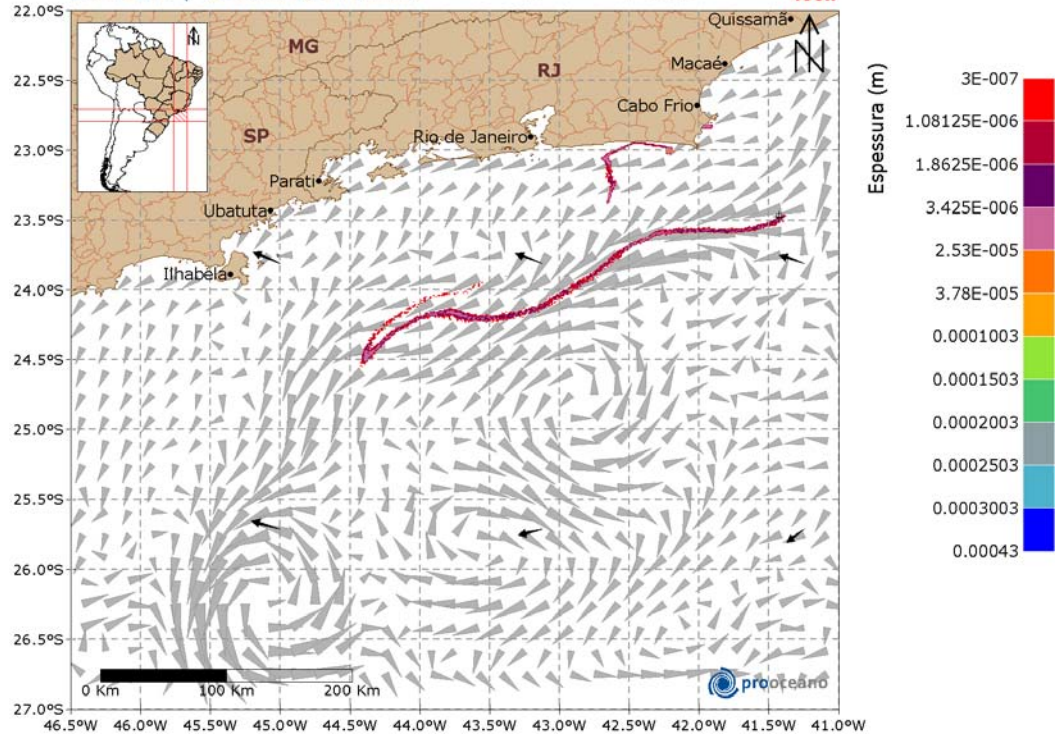


Figura 30: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 400 horas de simulação.

STROLL - modo determinístico

BM-C-41 | Cenário de Inverno

corrente ↑ vento

500h

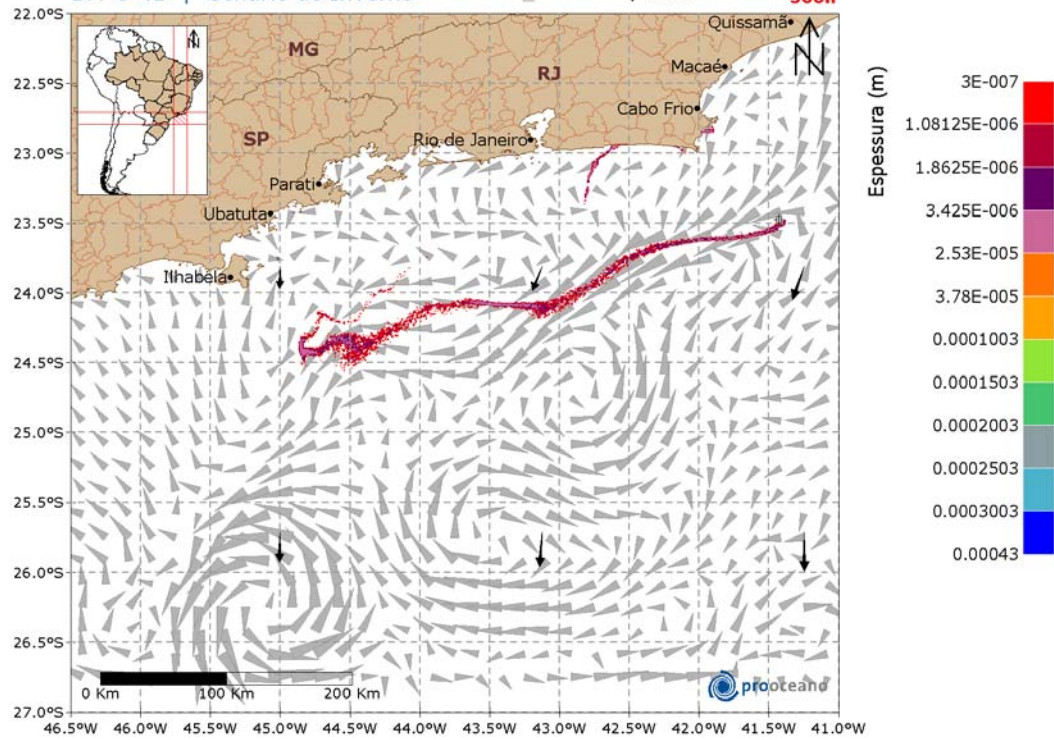


Figura 31: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 500 horas de simulação.

STROLL - modo determinístico

BM-C-41 | Cenário de Inverno

corrente ↑ vento

600h

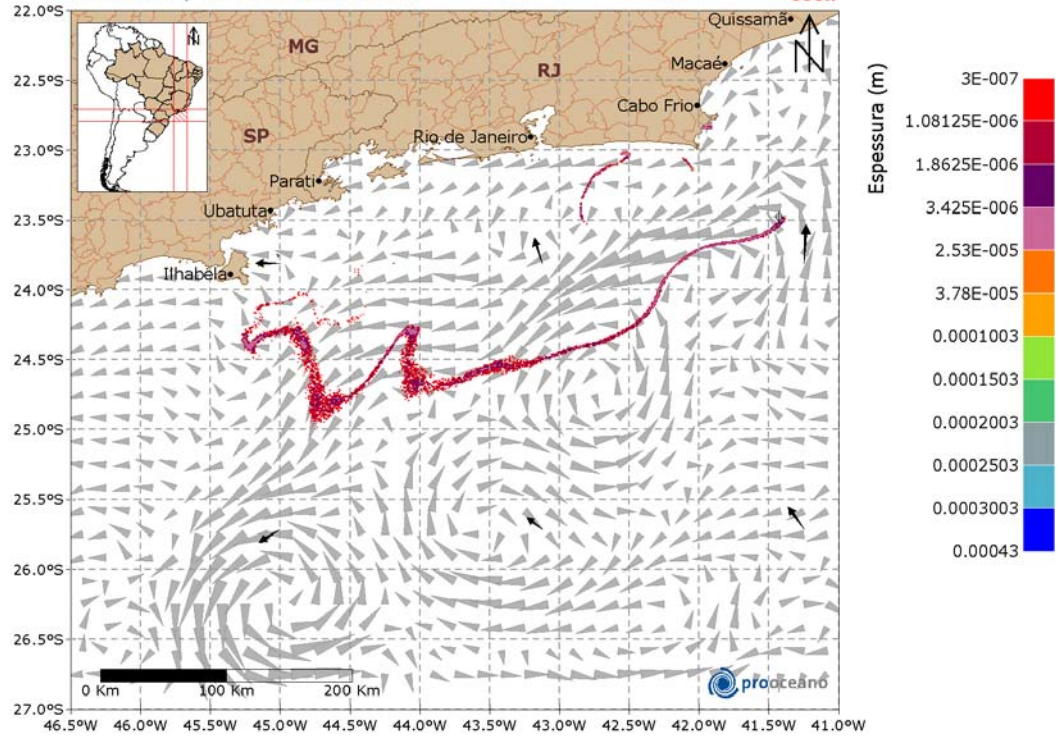


Figura 32: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 600 horas de simulação.

STROLL - modo determinístico

BM-C-41 | Cenário de Inverno

corrente ↑ vento

720h

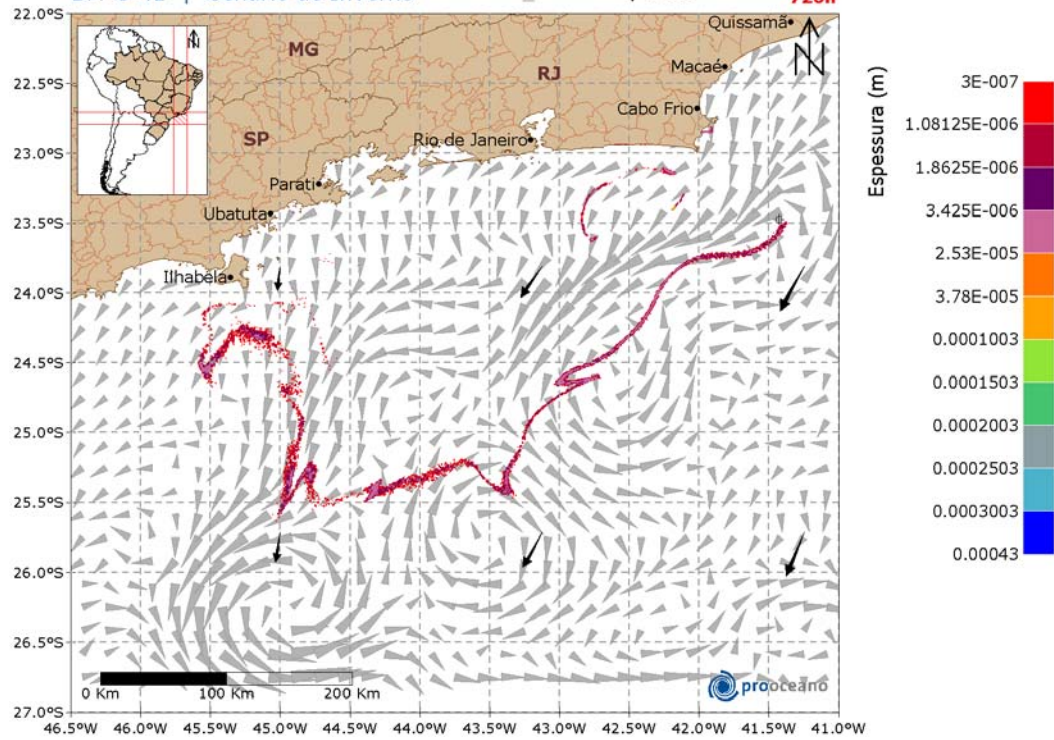


Figura 33: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 720 horas de simulação.

STROLL - modo determinístico

BM-C-41 | Cenário de Inverno

corrente ↑ vento

900h

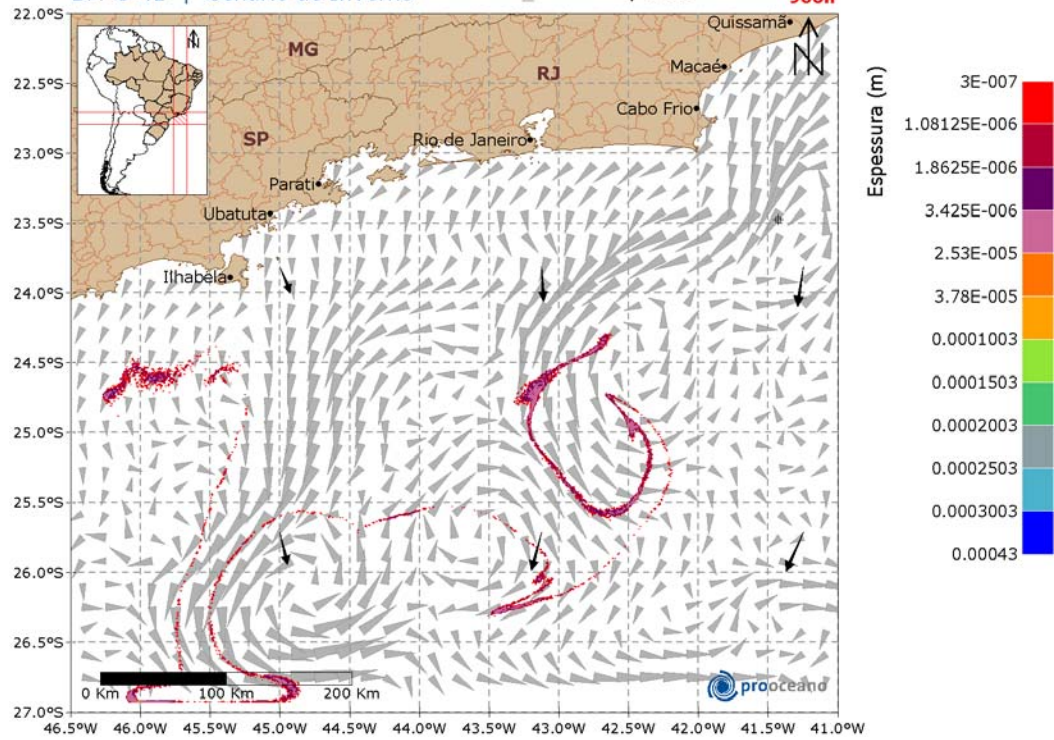


Figura 34: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 900 horas de simulação.

STROLL - modo determinístico

BM-C-41 | Cenário de Inverno

corrente ↑ vento

1200h

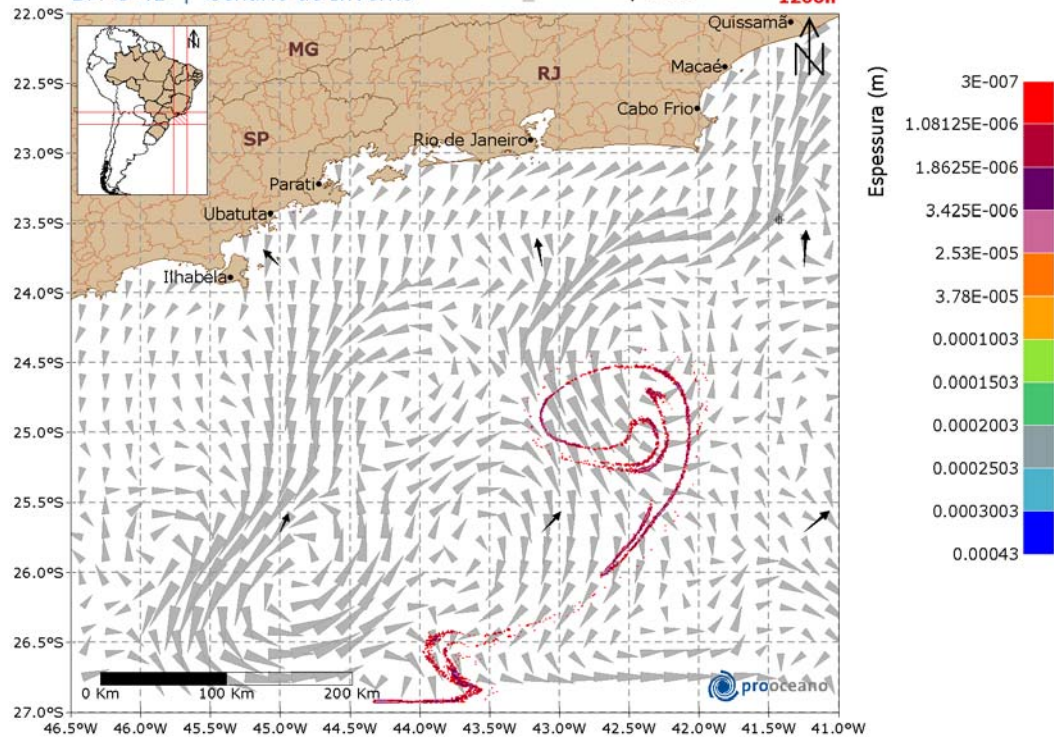


Figura 35: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 1200 horas de simulação.

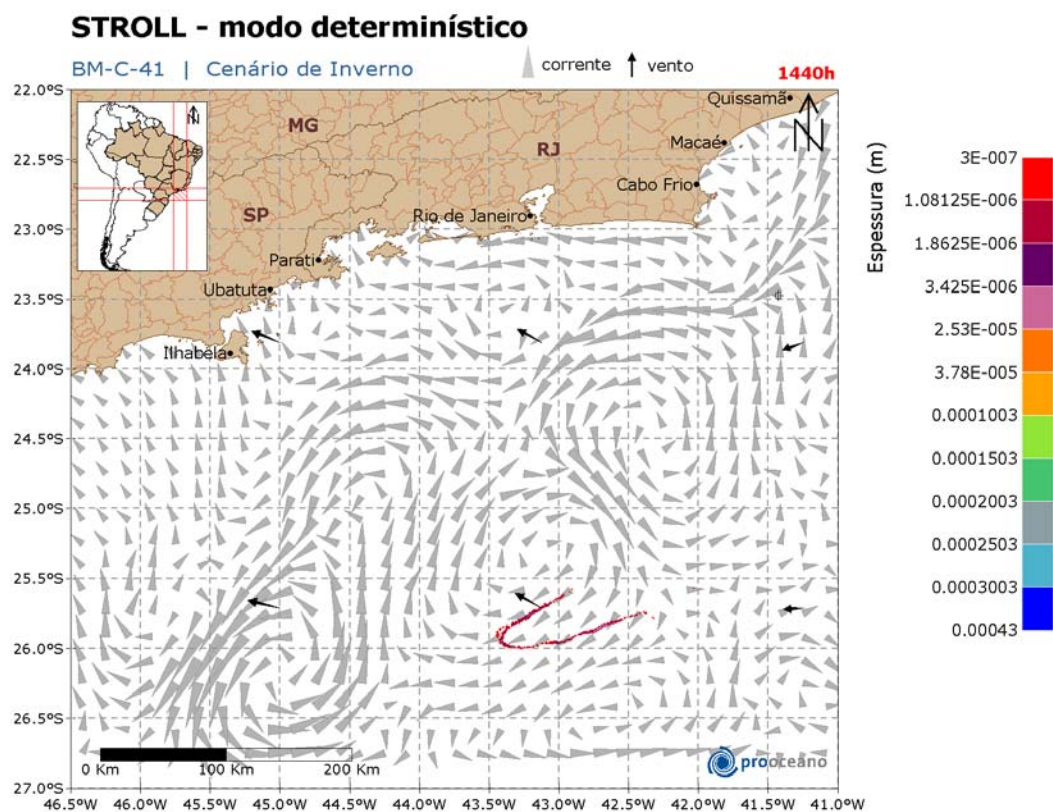


Figura 36: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 1440 horas de simulação.

A deriva do óleo ocorre na direção noroeste até 200h, quando se inicia a deriva rumo a oeste. O toque na costa ocorre em 84 horas após o início do vazamento, no município de Arraial do Cabo–RJ.

V.3. Balanços de Massa (ou Processos do Intemperismo)

A evolução temporal do balanço de massa obtido nas simulações é apresentada na Figura 37.

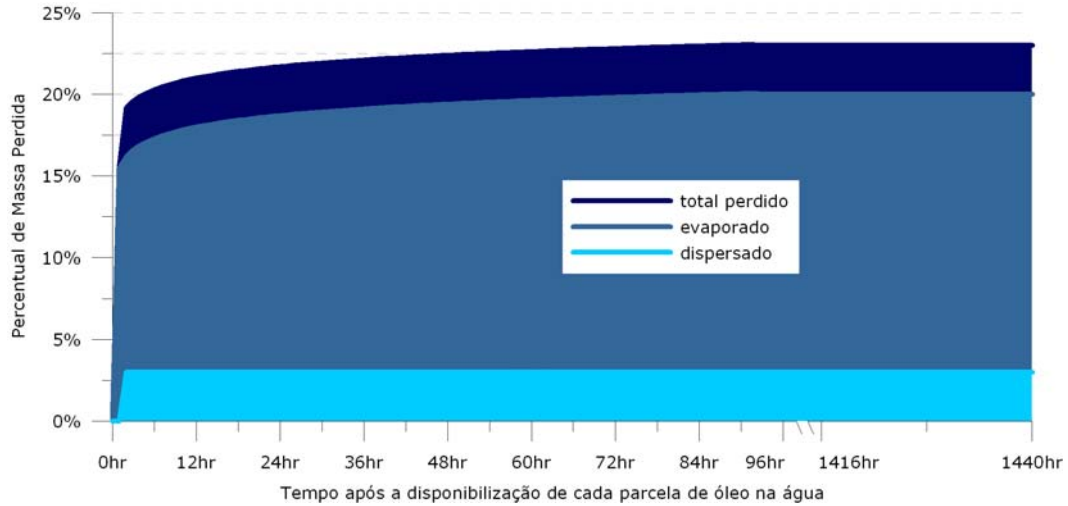


Figura 37: Evolução Temporal do Balanço de Massa ao longo da Simulação.

Ao longo da simulação a massa total de óleo perdida foi de 23%, sendo que esse valor é alcançado em até 84 horas após a disponibilização do óleo na água.

A perda total por evaporação foi o processo mais efetivo ao longo da simulação, consumindo 20% da massa, sendo essa porcentagem alcançada 84 horas após a disponibilização de cada parcela de óleo na água.

A perda de massa pela dispersão consumiu 3% do óleo vazado em cerca de 12 horas. O balanço de massa ao longo do tempo pode ser observado nas Figura 38 a Figura 41.

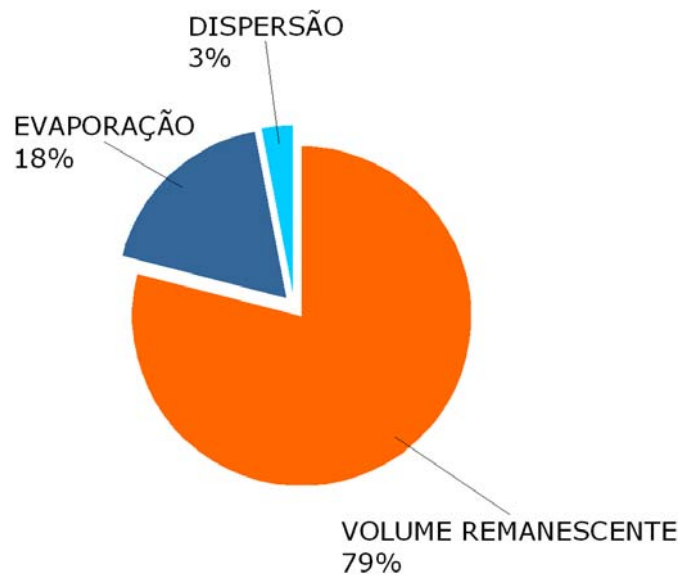


Figura 38: Balanço de Massa, após 12 horas de simulação.

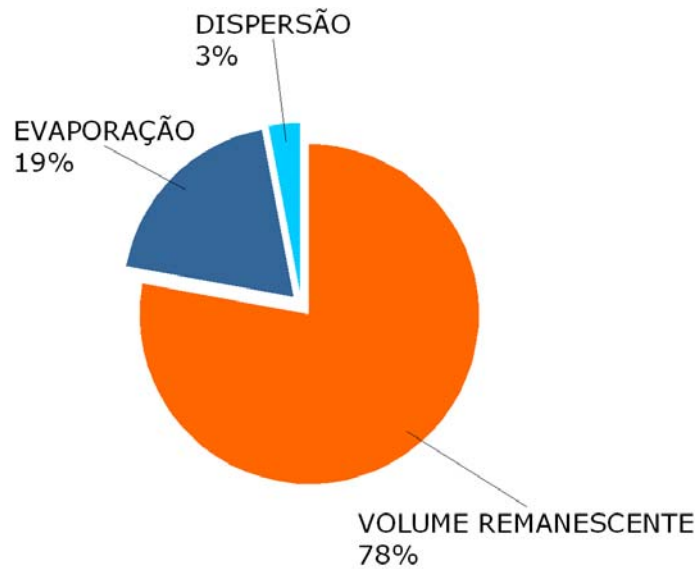


Figura 39: Balanço de Massa, após 36 horas de simulação.

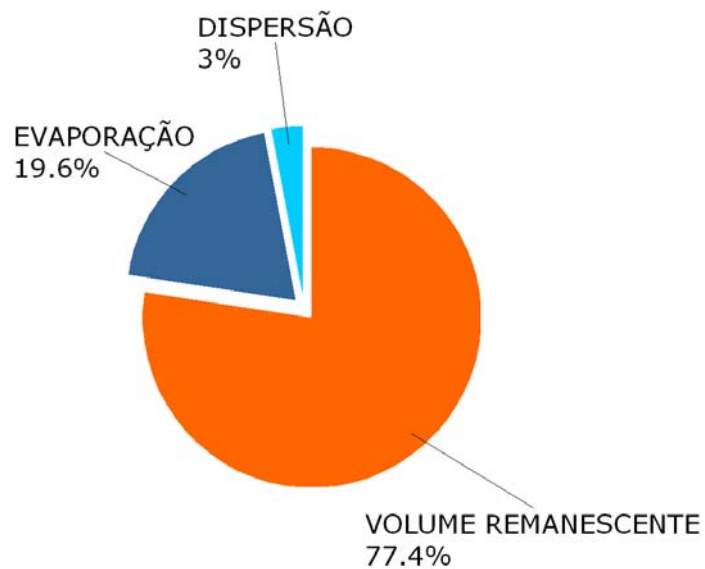


Figura 40: Balanço de Massa, após 60 horas de simulação.

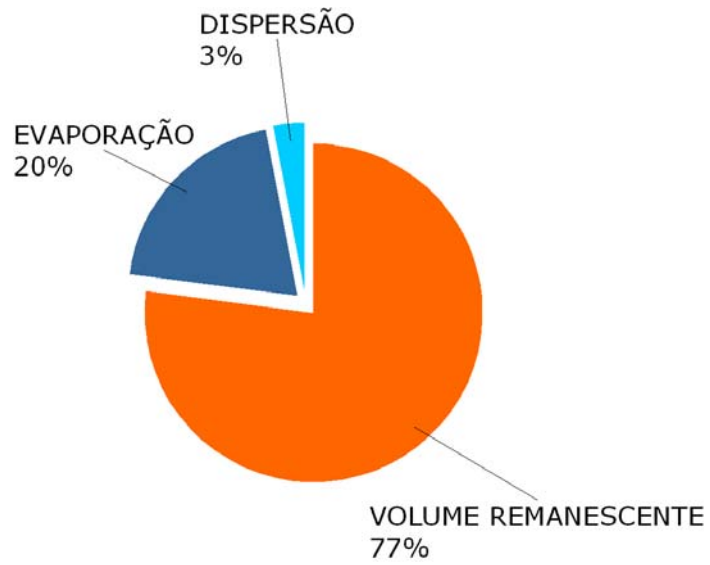


Figura 41: Balanço de Massa, após 84 horas de simulação.

VI. CONCLUSÃO

Em todas as simulações probabilísticas, pequeno e médio volume, além do *blow-out*, a deriva preferencial do óleo foi para sudoeste do poço.

Nos vazamentos de pequeno e médio volume, nos cenários de verão e inverno não se demonstrou probabilidade do óleo chegar à costa.

Os resultados obtidos na simulação de *blow-out* mostraram que a extensão de costa com probabilidade de presença de óleo foi maior no cenário de verão, abrangendo a região entre São João da Barra – RJ e Praia Grande - SP. No cenário de inverno a área de costa que pode ser atingida pelo óleo situa-se entre o município de São João da Barra – RJ e Guarujá – SP. O tempo mínimo de chegada do óleo na costa foi menor no cenário de inverno, 60-100 horas, enquanto no cenário de verão foi de 100-200 horas.

Com base nos resultados do modo probabilístico foi definido um cenário crítico de inverno. O critério escolhido para definição da situação foi o da trajetória que mais rapidamente alcançasse a costa.

Na trajetória escolhida para o cenário de inverno, a deriva do óleo ocorreu, inicialmente, para noroeste do poço, tocando a costa de Arraial do Cabo - RJ em 84 horas.

Os resultados obtidos em relação ao intemperismo do óleo mostraram que após 84 horas da disponibilização de cada parcela de óleo na água, os processos não mais atuam. A massa total de óleo perdida foi de 23%, sendo que a evaporação consumiu 20% desse total.

VII. BIBLIOGRAFIA

CSANADY, G. T., 1972. Turbulent Diffusion in the Environment. Geophysics and Astrophysics Monographs, Vol.3, 247 pp., D. Reidel Publishing Company, Dordrecht: Holland.

DELVIGNE G.A.L. and SWEENEY C.E.. Natural dispersion of Oil. Oil & Chemical Pollution 4 (1988) 281-310.

DELVIGNE G.A.L., Hulsen L. Simplified laboratory experiments of oil dispersion coefficient- Application of computations of natural oil dispersion. Proc. 17th AAM Oilspill Program Technical Seminar. Vancouver, Canada, 1994.

DING, L.; FARMER, D. M. 1994. Observations of breaking wave statistics. Journal of Physical Oceanography 24, 1368-1387.

ELLIOTT A.J. A probabilistic description of the wind over Liverpool Bay with application to oil spill simulations Estuarine, *Coastal and Shelf Science* 61 (2004) 569-581.

ELPN/IBAMA. Informação Técnica nº 023/2002. Modelagem de Derramamento de Óleo no Mar.

FLORES, et al. Computer Modeling of Oil Spill Trajectories with a High Accuracy Method. Spill Science & Technology Bulletin. v. 5, n.5-6, 1999, p. 323-330.

JONES. R. 1997 A simplified Pseudo-component Oil evaporation Model. NOAA, USA in Proceedings of the Twentieth Arctic and Marine Oilspill Program, Technical Seminar, Volume 1, p.43-60. Vancouver, Canada.

KALNAY, E, M. KANAMITSU, R. KISTLER, W. COLLINS, D. DEAVEN, L. GANDIN, M. IREDELL, S. SAHA, G. WHITE, J. WOOLLEN, Y. ZHU, M. CHELLIAH, W. EBISUZAK, W. HIGGINS, J. JANOWIAK, K.C. MO, C. ROPELEWSKI, J. WANG, A. LEETMAA, R. REYNOLDS, R. JENNE, D. JOSEPH, 1996: "The NCEP /NCAR 40-Year Reanalysis Project", Bulletin of the American Meteorological Society, 437-470.

LEHR, W.J., SIMECEK-BEATTY, D., 2000. The relation of Langmuir circulation processes to the standard oil spill spreading, dispersion, and transport algorithms. Spill Science and Technology Bulletin 6, 247-253.

LEHR, W.J., JONES, R., EVANS, M., SIMECEK-BEATTY, D., OVERSTREET, R., 2002. Revisions of the ADIOS oil spill model. Environmental Modelling and Software 17, 191-199.

LYMAN, J. L.; REEHL, W.F.; ROSENBLATT, D.A. Handbook of Chemical Property Estimation Methods. American Chemical Society, Washington D.C., 1990.

MACKAY, D. & R. S. MATSUGU, 1973.: Evaporation rates of liquid hydrocarbon spills on land and water. Can J. Chem. Eng., 51. 434-9.

MACKAY, D., I. BUIST, R. MASCARENHAS & S. PATERSON, 1980.: Oil Spill Processes and Models. Environmental Protection Service. Canada. Report EE-8.

MACKAY, D., SHIU, W.Y., HOSSAIN, K., STIVER, W., MCCURDY, D., PETERSON, S., TEBEAU, P. A., 1983. Development and Calibration of an Oil Spill Behavior Model, Report

No. CG-D-27-83, United States Coast Guard Office of Research and Development, Groton, Conn., USA.

MONAHAN, E., 1971. Oceanic whitecaps. *Journal of Physical Oceanography* 1, 139–144.

NOAA, 2000. Evaporation Technical Notes in ADIOS 2 (Automated Data Inquiry for oil Spills).

OEY, L.-Y., G.L. MELLOR, and R.I. HIRES, 1985a. A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary. Part I: Description of the model and model simulations, *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 1676-1692.

OEY, L.-Y., G.L. MELLOR, and R.I. HIRES, 1985b. A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary. Part II: Comparison with observation, *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 1693-1709.

SOTO, Y. J. M. A modelagem hidrodinâmica como apoio a tomada de decisão em caso de derrame de óleo na parte interna do complexo estuarino Antonina-Paranaguá-PR. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Paraná. 2004.

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



Anexo 9-5

Lista de contatos

Quadro 9.5-1. Lista de contato com os componentes da Estrutura Organizacional de Resposta.

FUNÇÃO EOR	NOME	TELEFONE (ESCRITÓRIO/UNIDADE)	TELEFONE MÓVEL (CELULAR)
Coordenador de Resposta à Emergência	Paulo Ricardo	(21) 2555-5297	(21) 8218-1357
	Paulo Mendonça	(21) 2555-5246	(21) 8306-6032
Coordenador da Equipe de Gerenciamento de crises	Paulo Mendonça	(21) 2555-5246	(21) 8306-6032
	Rodolfo Landim	(21) 2555-5624	(21) 8306-6066
Assessor Jurídico	José Faveret	(21) 2555-4277	(21) 8371-0287
	Lucas Quevedo	(21) 2555-5504	(21) 8218-2277
Coordenador de Operações	Reinaldo Belotti	(21) 2555-5282	(21) 8285-7100
	Carlos Alberto Camargo	(21) 2555-5618	(21) 8217-8200
Coordenador de Logística	Billy Pinheiro	(21) 2555-2150	(21) 8371-0221
	Vinicius Passos	(21) 2555-4043	(21) 8217-7778
Assessor de SMS	Glória Marins	(21) 2555-4198	(21) 8129-5179
	Heraldo Albuquerque	(21) 2555-4067	(21) 8306-7759
Relações Externas	Fátima Ribeiro	(21) 2555-2337	(21) 8141-2779
	Cláudia Horta	(21) 2555-5639	(21) 8129-2064
Assessor de Recursos Humanos	Rafaella Barbosa	(21) 2555-5610	(21) 8306-7714
	Samanta Pereira	(21) 2555-5551	(21) 8129-0988
Suporte Administrativo	Elisabeth Saadi	(21) 2555-5248	(21) 8151-3430
	Luciana Mota	(21) 2555-5248	(21) 8622-4959
Suporte Financeiro	Francisco Maranhão	(21) 2555-4139	(21) 8306-6061
	Eduardo Oliveira	(21) 2555-4130	(21) 8306-7746

Quadro 9.5-2. Lista e meios de contato com autoridades governamentais. (continua...)

INSTITUIÇÃO	TELEFONE	FAX	OBSERVAÇÃO
IBAMA			
Diretoria de Controle Ambiental – Brasília (Linha Verde)	0800-618080	(61) 3321-7713	Comunicação obrigatória Lei 9966/2000
Coordenação Geral de Petróleo e Gás do Ibama (CGPEG)	(21) 2506-1716 (21) 2221-5524	(21) 2506-1715	Comunicação obrigatória Lei 9966/2000
Ministério do Meio Ambiente			
Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos	(61) 4009-1274 (61) 4009-1230	(61) 4009-1796	---
Ministério da Defesa – Marinha do Brasil			
Diretoria de Portos e Costas	(21) 2104-5236	---	Comunicação obrigatória à Capitania dos Portos da Jurisdição do incidente Lei 9966/2000
Capitania dos Portos do Rio de Janeiro	(21) 3870-5320	(21) 2263-0930	
Capitania dos Portos de São Paulo	(13) 3221-3454	(13) 3222-3188	
Capitania dos Portos de Espírito Santo	(27) 2124-6500	(27) 3324-1805	
Agência Nacional do Petróleo (ANP)			
Superintendência de Exploração – RJ	(21) 2112- 8100	(21) 2112-8419 (21) 2112-8129 (21) 2112-8139 (21) 2112-8149	Comunicação obrigatória Lei 9966/2000 Portaria ANP 14/2000
Brasília	(61) 3426 - 5199	(61) 3326- 0699	---

Quadro 9.5-2. Lista e meios de contato com autoridades governamentais. (continuação)

INSTITUIÇÃO	TELEFONE	FAX	OBSERVAÇÃO
Ministério da Agricultura			
Departamento de Pesca e Aquicultura		(61) 3218-2828	---
Ministério Público Federal			
Procuradoria Geral da República – Ofício do Meio Ambiente		(61) 3031-5100	---
Órgão Estadual de Meio Ambiente			
FEEMA/RJ – Sede Serviço de Controle da Poluição Acidental	(21) 2270-6433 (21) 2270-6098 (21) 2564-6355 (21) 9947-2154	---	---
CETESB/SP	(11) 3133-3000 0800 011 3560	(11) 3133-3402	---
IEMA/ES	(27) 3136-3484 (27) 3136-3430 (27) 3136-3502	---	---
Defesa Civil			
Coordenadoria Estadual de Defesa Civil - SP	(011) 2193-8322 (011) 2193-8888	(11) 2193-8673	
Secretaria Estadual de Defesa Civil – RJ	(21) 3399-4000 (21) 3399-4001 (21) 3399-4002 (21) 3399-4193 (21) 3399-4301	(21) 3399-4009 (21) 3399-4105	
Secretaria Estadual de Defesa Civil – ES	(27) 3137-4432 (27) 3137-4440 (27) 3137-4441	(27) 3137-4441	---

Quadro 9.5-3. Lista e meios de contato com organizações externas (continua...)

ENTIDADE	FUNÇÃO	ENDEREÇO	TELEFONE	FAX	OUTROS
Prooceano	Modelagem matemática	Av. Rio Branco, 311 sala 1224 Centro, Rio de Janeiro RJ CEP: 20040-009	(21) 2532-5666	(21) 2532-5666	contato@prooceano.com.br
Nitshore logística <i>Offshore</i>	Base de apoio logístico	Av. Feliciano Sodré 215- parte, Centro Niterói, RJ	(21) 2620-6373 (21) 2620-8818 (21) 2622-7120	---	---
Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro	Aeroporto	Av. 20 de Janeiro, s/n – Galeão Ilha do Governador Rio de Janeiro – RJ	(21) 3398-5050	(21) 3393-2288	---
Aeroporto Santos Dumont	Base de apoio aéreo	Rua Senador Salgado Filho, s/n Centro – Rio de Janeiro – RJ	(21) 3814-7070	(21) 2533-2218	---
Companhia Docas do Rio de Janeiro	Porto marítimo	Rua do Acre, 21 – Centro Rio de Janeiro – RJ	(21) 2219-8600	(21) 2253-6811	cdrij@portosrio.gov.br
Porto de Vitória - Companhia Docas do Espírito Santo - CODESA	Porto marítimo	Av. Getúlio Vargas, 556, Centro, Espírito Santo, ES CEP: 29010-945	(27) 3132-7335 (27) 3132-7336		www.codesa.com.br
Porto do Rio de Janeiro	Porto marítimo	Av. Rodrigues Alves, 20 – Praça Mauá Rio de Janeiro – RJ	(21) 2219- 9542 (21) 2219- 9543	(21) 2516-1958	---
Porto de Niterói	Porto marítimo	Av. Feliciano Sodré, 215 – Centro Niterói – RJ	(21) 2621-3182 (21) 3604- 5975	---	---
Porto de Santos	Porto marítimo	Av. Conselheiro Rodrigues Alves, s/n – Macuco Santos – SP	(13) 3224-9901	(13) 3222-3068	codesp@carrier.com.br
Porto de São Sebastião	Porto marítimo	Av. Doutor Altino Arantes, 410 São Sebastião – SP	(12) 3892- 1899	(12) 3892- 1599	---

Quadro 9.5-3. Lista e meios de contato com organizações externas (continuação)

ENTIDADE	FUNÇÃO	ENDEREÇO	TELEFONE	FAX	OUTROS
Porto de Angra dos Reis	Porto marítimo	Av. dos Reis Magos, s/n - Centro Angra dos Reis – RJ	(24) 3365-7822	(24) 3365-0273	---
Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN Centro de Hidrografia da Marinha – CHM Divisão de Previsões Ambientais	Informações meteorológicas	Rua Barão de Jaceguay, s/n°, Ponta da Armação Niterói – RJ	(21) 2620-8861 (21) 2620-2744 (21) 2189-3274	---	www.dhn.mar.mil.br 12@chm.mar.mil.br bndo@chm.mar.mil.br previsor@smm.mil.br
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE	Informações meteorológicas	Av. dos Astronautas, 1.758 - Jd. Granja São José dos Campos - SP -	(12) 3945-6000 (12) 3945-6499	(12) 3945-6460	---
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos	Informações meteorológicas	Rodovia Presidente Dutra, km 40 Cachoeira Paulista – SP	(12) 3186-8400	(12) 3101-2835	---
Instituto Nacional de Meteorologia – INMET	Informações meteorológicas	Eixo Monumental – Via S1 Brasília – DF	(61) 3344-0500 (61) 3344-3333	(61) 3344-0700	www.inmet.gov.br
Centro de Recuperação de Animais Marinhos - CRAM	Reabilitação de fauna contaminada com óleo	Rua Heitor Perdigão, 10 Rio Grande / RS	(53)2231-3496 (53)2232-9107	---	museu@furg.br www.museu.furg.br/p_cram.html
Federação dos Pescadores do Estado de Espírito Santo	Pesca	Rua D. Jorge Menezes, 1162 - Centro CEP 29100-250	(27) 3329-5426 (27) 9965-8664	---	---
Federação dos Pescadores do Estado de São Paulo	Pesca	Pres. Tsuneo Okida - Av. Dino Bueno, 114 – Ponta da Praia – Santos CEP 11.030-350	(13) 3261-2992 (13) 3261-4700	---	---
Federação de Pescadores do Estado do Rio de Janeiro	Pesca	Rua Visconde do Rio Branco, 10, Centro, Niterói/RJ	(21) 2717-8469	---	---



Anexo 9-6

Dimensionamento da Capacidade de Resposta

9.6. DIMENSIONAMENTO DA CAPACIDADE DE RESPOSTA

A capacidade de resposta para potenciais acidentes provenientes das atividades de perfuração marítima exploratória de hidrocarbonetos nos blocos BM-C-39, BM-C-40, BM-C-41, BM-C-42 e BM-C-43, foi dimensionada conforme critérios dos Anexos II e III da Resolução CONAMA 398/08, como mostrados nos Quadros 9.6-1 a 9.6-3 a seguir:

Quadro 9.6-1. Capacidade de Resposta para descarga pequena.

DESCARGA PEQUENA (dp)	
Vdp	8 m ³
CEDRO ¹ dp	Vdp = 8 m ³ /dia
Tdp	≤ 2 horas
CN ² = CEDRO/(24 x μ ³)	8/(24 x 0,2) = 1,67 m ³ /h
Recolhedores de Óleo	Recolhedor <i>offshore</i> com CN=125 m ³ /h e acessórios, disponível na embarcação dedicada.
Barreiras Flutuantes	200 m de barreiras oceânicas disponíveis na embarcação dedicada para permitir que com auxílio da embarcação de apoio estabeleçam uma configuração em “J”, permitindo a contenção e o recolhimento do óleo derramado.
Dispersão Mecânica ⁴ e Química	Será utilizada a dispersão mecânica em pequenas descargas, sempre que as condições de mar não permitam o recolhimento através dos equipamentos previstos. Para esse volume de descarga não será utilizada a dispersão química do óleo derramado como estratégia de resposta.
Armazenamento Temporário ⁵	Serão utilizados os tanques infláveis do barco dedicado e os tanques dos barcos de apoio que estiverem em operação no local.

Quadro 9.6-2. Capacidade de Resposta para descarga média. (continua...)

DESCARGA MÉDIA (dm)	
Vdm	Menor volume entre 200 m ³ ou 10% de 48.314m ³
CEDROdm	0,5 x Vdm= 0,5 x 200 = 100 m ³
Tdm	≤ 6 horas
CN= CEDRO/(24 x μ)	100 / (24 x 0,2) = 20,83 m ³ /h
Recolhedores de Óleo	Recolhedor <i>offshore</i> com CN=125 m ³ /h e acessórios, disponível na embarcação dedicada.

¹ CEDRO: Capacidade Efetiva Diária de Recolhimento de Óleo

² CN: Capacidade Nominal de Recolhimento

³ μ: Fator de eficiência do recolhedor (μ_{max}=0,2)

⁴ Dispersão Mecânica: Operação que consiste em passar com a embarcação de apoio repetidas vezes sobre a mancha, promovendo uma agitação mecânica, fazendo com que haja um aumento da área de contato permitindo a quebra do óleo em gotas de pequeno diâmetro, agilizando com isso, a dispersão do mesmo na água.

⁵ De acordo com o Anexo III da Resolução CONAMA 398/08, o armazenamento temporário do óleo recolhido deverá ser equivalente a três horas de operação do recolhedor.

Quadro 9.6-2. Capacidade de Resposta para descarga média. (continuação)

DESCARGA MÉDIA (dm)	
Barreiras Flutuantes	200 m de barreiras oceânicas disponíveis na embarcação dedicada para permitir que com auxílio da embarcação de apoio estabeleçam uma configuração em “J”, permitindo a contenção e o recolhimento do óleo derramado.
Dispersão Mecânica e Química	Da mesma forma que o previsto para descargas pequenas, será utilizada a dispersão mecânica, sempre que as condições de mar não permitam o recolhimento através dos equipamentos previstos. Para esse volume de descarga não será utilizada a dispersão química do óleo derramado como estratégia de resposta.
Armazenamento Temporário	Serão utilizados os tanques infláveis do barco dedicado e o tanque dos barcos de apoio que estiverem em operação no local.
Absorventes	200 m de absorventes estocados na embarcação dedicada serão utilizados para compor a capacidade de resposta.

Quadro 9.6-3. Capacidade de Resposta para Descarga de pior caso (continua...)

DESCARGA DE PIOR CASO (pc)	
Vdpc ⁶	1.610,46 x 30 = 48.314 m ³ O atendimento às descargas de pior caso é previsto em 3 níveis distintos que visam atender respectivamente tempos de resposta de 12, 36 e 60 horas.
DESCARGA de PIOR CASO NÍVEL1 (dpc1)	
CEDROdpc1	> 1600 m ³ /dia
Tdpc1	≤ 12 horas
CN= CEDRO/(24 x μ)	> 1.600/(24 x 0,2) > 333,33 m ³ /h
Recolhedores de Óleo	Além do recolhedor com CN=125 m ³ /h e acessórios disponível na embarcação dedicada em operação no local, será disponibilizado na área num prazo inferior a 12 horas, dois outros recolhedores de óleo com CN= 125 m ³ /h. Totalizando 3x125 m ³ /h = 375 m ³ /h.
Barreiras Flutuantes	Além dos 200 m de barreiras oceânicas disponíveis nas embarcações de apoio, outras duas barreiras com as mesmas dimensões serão disponibilizadas na área em prazo inferior a 12 horas. Adicionalmente, serão disponibilizadas também embarcações que auxiliem no lançamento e posicionamento das barreiras.
DESCARGA DE PIOR CASO NÍVEL 2 (dpc2)	
CEDROdpc2	> 3.200 m ³ /dia
Tdpc2	≤ 36 horas
CN= CEDRO/(24 x μ)	> 3.200/ (24 x 0,2) > 666,66 m ³ /h
Recolhedores de Óleo	Em adicional a capacidade nominal de recolhimento apresentada para o Nível 1 e disponibilizada na área em prazo inferior a 12 horas, três recolhedores <i>offshore</i> com CN=125 m ³ /h cada deverão ser disponibilizados na área, perfazendo o total de 750 m ³ /h, em um tempo inferior a 36 horas.
Barreiras Flutuantes	600 m de barreira oceânica, em 3 carretéis de 200 m cada, deverão ser disponibilizadas em adição as empregadas para atendimento ao Nível 1 de modo a permitir a operação de cada recolhedor com uma barreira. Adicionalmente, serão disponibilizadas também embarcações que auxiliem no lançamento e posicionamento das barreiras.

⁶ Volume de Pior Caso: volume diário estimado decorrente da perda de controle do poço x 30 dias

Quadro 9.6-3. Capacidade de Resposta para Descarga de pior caso (continuação)

DESCARGA DE PIOR CASO NÍVEL 3 (dpc3)	
CEDRO _{dpc3}	> 6.400 m ³ /dia
T _{dpc3}	≤ 60 horas
CN= CEDRO/(24 x μ)	>6.400/(24 x 0,2) > 1.333,33 m ³ /h
Recolhedores de Óleo	Em adicional a capacidade nominal apresentada para o Nível 2, serão disponibilizados seis recolhedores com CN=125 m ³ /h cada de modo a incrementar em 750 m ³ /h a capacidade diária de recolhimento, atingindo um total de 1.500 m ³ /h, equivalente a 36.000 m ³ /dia. Caso o monitoramento da mancha indique sua aproximação da costa em áreas sensíveis, recolhedores especiais, inclusive de empresas internacionais, serão providenciados com barreiras e absorventes recomendados pela assessoria técnica das empresas de resposta a derramamentos.
Barreiras Flutuantes	1.200 m de barreira oceânica, em 6 carretéis de 200 m cada, deverão ser disponibilizadas em adição as disponíveis, totalizando 2.200 m, de modo a permitir a operação de cada recolhedor com uma barreira. Adicionalmente, serão disponibilizadas também embarcações que auxiliem no lançamento e posicionamento das barreiras de contenção.
DESCARGA DE PIOR CASO NÍVEIS 1, 2 E 3	
Armazenamento Temporário	A capacidade de armazenamento temporário requerida pela CONAMA 398/08 para pior caso Nível 1, 2 e 3 é de, respectivamente, 1125 m ³ , 2250 m ³ e 4.500 m ³ . Para atendimento a esses volumes serão utilizadas as tancagens do barco dedicado, dos barcos de apoio, e o complemento será transferido para os tanques das embarcações extras, conforme contrato com as empresas de suporte a emergência.
Absorventes	200 m de barreiras absorventes disponível na embarcação dedicada e outros 200 m, se necessários serão alocados na área.
Dispersão Mecânica e Química	Para estes níveis de descarga a dispersão mecânica do óleo derramado como estratégia de resposta só será utilizada caso o espalhamento do óleo permita este procedimento em áreas localizadas da mancha ou em pequenas manchas que tenham se despreendido da mancha maior. Sendo assim é possível obter resultados utilizando-se a dispersão mecânica em descargas de pior caso desde que se encontrem condições favoráveis para a realização deste procedimento de resposta. Para a dispersão química da mancha de óleo, deverá ser utilizado um aspersor de dispersante com vazão de 60 lpm ao mar, através de braços e acessórios, estando um conjunto disponível em cada barco de apoio e um no barco dedicado. Serão utilizados os barcos de apoio, formando 2 conjuntos para aplicação do dispersante.

O Quadro 9.6-4 mostra a síntese dos equipamentos dimensionados para responder aos diferentes cenários de derramamento de óleo proveniente de um potencial incidente na atividade de perfuração nos blocos BM-C-39, BM-C-40, BM-C-41, BM-C-42 e BM-C-43.

Quadro 9.6-4. Equipamentos e materiais para descargas Pequena, Média e de Pior Caso.

TIPO DE DESCARGA	RECURSOS DE RESPOSTA PREVISTOS	LOCALIZAÇÃO DOS RECURSOS PREVISTOS
Pequena Média	1 x 125 m ³ /h recolhedor de óleo 1 x 200 m barreira de contenção oceânica 1 x 200 m barreira absorvente 1 conjunto aspersor de dispersante (bomba/braços/mangueiras 4 x 50 m ³ tanque inflável flutuante	Embarcação Dedicada
	1 conjunto aspersor de dispersante (bomba/braços/mangueiras	Barcos de Apoio
Pior Caso Nível 1	2 x 200 m barreira de contenção oceânica 2 x 125 m ³ /h recolhedor de Óleo <i>nota: além dos recursos previstos para os níveis anteriores</i>	Base de apoio das empresas de suporte a emergência
Pior Caso Nível 2	3 x 125 m ³ /h recolhedor de Óleo 3 x 200 m barreira de contenção oceânica <i>nota: além dos recursos previstos para os níveis anteriores</i>	
Pior Caso Nível 3	6 x 125 m ³ /h recolhedor de óleo 6 x 200 m barreira de contenção oceânica 1 x 200 m barreira absorvente 1 conjunto aspersor de dispersante portátil para embarcação <i>nota: além dos recursos previstos para os níveis anteriores</i>	

As embarcações extras disponibilizadas para atendimento a derramamentos de óleo de Pior Caso Níveis 1, 2 e 3, devem possuir uma tancagem para armazenamento temporário de óleo de acordo com o especificado na CONAMA 398/08. O Quadro 9.6-5 apresenta um comparativo entre a capacidade nominal dos recolhedores de óleo, o armazenamento provisório previsto na legislação e a tancagem das embarcações extras que podem ser utilizadas durante a atividade de perfuração na Bacia de Campos.

Quadro 9.6-5. Comparativo entre as capacidades de armazenamento provisório das embarcações e recolhedores previstos. (continua...)

TIPO DE DESCARGA	CAPACIDADE NOMINAL E QUANTIDADE DE RECOLHEDORES	ARMAZENAMENTO PROVISÓRIO PREVISTO NA CONAMA 398/08 (M ³)	ARMAZENAMENTO PROVISÓRIO TANCAGEM DISPONÍVEL (M ³)
Pequena e Média	1 x 125 m ³ /h recolhedor de óleo	375	Embarcações de Apoio: PSV 4500 + PSV 3000 + AHTS 12000: 2420 m ³ Embarcação Dedicada: Fernanda M: 200 m ³ (tanques infláveis flutuantes) Capacidade total: 2620 m³
Pior Caso Nível 1	2 x 125 m ³ /h recolhedor de Óleo <i>nota: além dos recursos previstos para os níveis anteriores</i>	1125	Embarcações de Apoio: PSV 4500 + PSV 3000 + AHTS 12000: 2420 m ³ Embarcação Dedicada: Fernanda M: 200 m ³ (tanques infláveis flutuantes) Capacidade total: 2.620 m³
Pior Caso Nível 2	3 x 125 m ³ /h recolhedor de Óleo <i>nota: além dos recursos previstos para os níveis anteriores</i>	2250	Embarcações de Apoio: PSV 4500 + PSV 3000 + AHTS 12000: 2420 m ³ Embarcação Dedicada: Fernanda M: 200 m ³ (tanques infláveis flutuantes) Embarcações Extras: Serra Polar: 3.438,72 m ³ Apollo: 3.309,42 m ³ Ponta Negra: 1.926,80 m ³ Arpoador: 1.893,28 m ³ Dundee: 780 m ³ Capacidade total: 13.968,22 m³

Quadro 9.6-5. Comparativo entre as capacidades de armazenamento provisório das embarcações e recolhedores previstos. (continuação)

TIPO DE DESCARGA	CAPACIDADE NOMINAL E QUANTIDADE DE RECOLHEDORES	ARMAZENAMENTO PROVISÓRIO PREVISTO NA CONAMA 398/08 (M ³)	ARMAZENAMENTO PROVISÓRIO TANCAGEM DISPONÍVEL (M ³)
Pior Caso Nível 3	6 x 125 m ³ /h recolhedor de óleo <i>nota: além dos recursos previstos para os níveis anteriores</i>	4500	Embarcações de Apoio: PSV 4500 + PSV 3000 + AHTS 12000: 2420 m ³ Embarcação Dedicada: Fernanda M: 200 m ³ (tanque inflável flutuante) Embarcações Extras: Serra Polar: 3.438,72 m ³ Apollo: 3.309,42 m ³ Ponta Negra: 1.926,80 m ³ Arpodador: 1.893,28 m ³ Dundee: 780 m ³ Capacidade total: 13.968,22 m³



Anexo 9-7

Formulários de comunicação

Formulário 9A

Comunicação inicial do incidente às autoridades competentes

FORMULÁRIO 9A – Comunicação inicial do incidente às autoridades competentes

I – Identificação da instalação que originou o incidente

Nome da instalação:

() sem condições de informar

II – Data e hora da observação

Hora: Dia/mês/ano:

III – Data e hora estimada do incidente

Hora: Dia/mês/ano:

IV – Localização geográfica do incidente

Latitude: Longitude:

V – Óleo derramado

Tipo de óleo:

Volume estimado (m³):

() sem condições de informar

VI – Causa provável do incidente

() sem condições de informar

VII – Situação atual da descarga

() paralisada () não foi paralisada () sem condições de informar

VIII – Ações iniciais

() acionado Plano de Emergência Individual

() outras providências:

() sem evidência de ação ou providência até o momento

IX – Data e hora da comunicação

Hora: Dia/mês/ano:

X – Identificação do comunicante

Nome completo:

Cargo ou função na instalação:

Telefone para contato:

XI – Outras informações julgadas pertinentes

Formulário 9B

Relatório de Incidentes (ANP)

Formulário 9B – Relatório de Incidentes (ANP)**I – Identificação da Empresa Operadora**

Nome: _____

Endereço: _____

II – Identificação da Pessoa Responsável pela Emissão do Relatório de Incidentes

Nome: _____

Função: _____

III – Cronologia/Descrição Técnica do Incidente

Hora da Ocorrência: ____:____ Dia/mês/ano: ____/____/____

Nome e Localização da Instalação Envolvida: _____

Localização Geográfica da Área Atingida: _____

Identificação dos Ecossistemas Afetados pelo Incidente: _____

IV – Descrição dos Fatores Externos para a Ocorrência do Incidente*(Identificar os fatores externos para contribuição ou agravamento do incidente e suas consequências)***V – Descrição das Prováveis Causas do Incidente***(Identificar os agravamentos, sejam imediatas, cumulativas ou circunstanciais)***VI – Descrição da Substância Liberada**

Nome: _____

Principais Características Físico-Químicas: _____

Estimativa da Quantidade Liberada (em m³): _____**VII – Descrição das Medidas Mitigadoras Tomadas***(Identificar também os resultados esperados no curto prazo)*Quantidade Recuperada da Substância (em m³): _____**VIII – Descrição das Conseqüências do Incidente à Instalação Afetada***(Identificar quanto à continuidade operacional e os danos ao patrimônio)***IX – Número de Empregados Feridos/Fatais**

Número Total de Feridos: _____ (Empregados Próprios, _____ Contratados e _____ de Comunidades Vizinhas à Instalação)

Número Total de Fatalidades: _____ (Empregados Próprios, _____ Contratados e _____ de Comunidades Vizinhas à Instalação)

X – Descrição Sobre a Interrupção das Atividades

Unidade/Setor da Instalação Paralisada:

–

Duração da Paralisação da Atividade (dias/horas): _____

Previsão de Retorno das Atividades (Dia/Mês/Ano): _____

X – Informações Adicionais Pertinentes

–

–

Formulário 9C

Comunicação Prévia de Uso de Dispersante Químico

Formulário 9C - Comunicação prévia do uso de dispersante químico

I – Identificação da instalação que originou o incidente

Nome da instalação: _____

II – Data e hora da observação do derramamento

Hora: ____:____ Dia/mês/ano: ____/____/____

III – Data e hora estimada do derramamento

Hora: ____:____ Dia/mês/ano: ____/____/____

IV – Localização geográfica do incidente

Latitude: _____ Longitude: _____

V – Óleo derramado

Tipo de óleo: _____

Volume estimado (m³): _____

VI – Local onde se pretende aplicar o dispersante químico

Latitude: _____ Longitude: _____

Distância aproximada da costa: _____

Profundidade média: _____

VII – Data e hora de quando ocorrerá a primeira aplicação de dispersante químico

Hora: ____:____ Dia/mês/ano: ____/____/____

VIII – Tipo de dispersante que será aplicado

Nome: _____

IX – Identificação do comunicante

Nome completo: _____

Cargo na empresa: _____

Telefone para contato: _____

X – Outras informações pertinentes:

Formulário 9D

Relatório de análise crítica do desempenho do Plano de Emergência Individual

Informações Referenciais

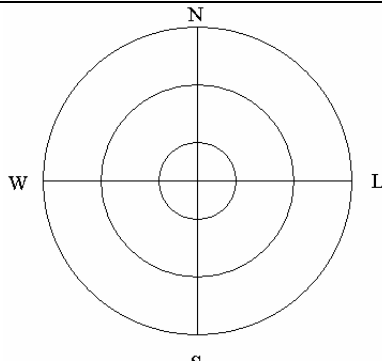
INFORMAÇÕES REFERENCIAIS PARA ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO FINAL DE DESEMPENHO DO PEI

O relatório final de avaliação de desempenho do PEI deverá ser elaborado considerando as seguintes informações:

- 1- descrição do cenário acidental com relação à: local, data, hora e causa do incidente, tipo e quantidade de óleo derramado, forma de vazamento, área atingida, condições meteorológicas (velocidade e direção do vento, condição do tempo) e oceanográficas (altura e direção de ondas, intensidade e direção de correntes);
- 2- descrição qualitativa e quantitativa dos recursos materiais utilizados no combate, devendo ser explicitado quais foram disponibilizados por terceiros (oriundos de acordos previamente firmados) e quais foram disponibilizados pela empresa;
- 3- descrição das ações de resposta, desde a confirmação do derrame até a desmobilização dos recursos, devendo ser apresentada sua cronologia, inclusive no que se refere ao deslocamento de recursos humanos e materiais (tempos envolvidos);
- 4- descrição dos impactos incluindo estimativa de quantidade de óleo recolhido, quantidade de óleo disperso, número de animais atingidos, número de animais mortos, número de animais recuperados, área da costa atingida, área da costa recuperada;
- 5- identificação e quantificação dos resíduos gerados e descrição da destinação final destes resíduos, devendo ser apresentados documentos comprobatórios;
- 6- discussão sobre o alcance dos objetivos do PEI, devendo ser ressaltados os pontos positivos e negativos observados. A referida discussão deverá ser utilizada como ferramenta para o aprimoramento do Plano de Emergência Individual, cujas possibilidades de melhoria deverão ser indicadas neste relatório;
- 7- assinatura do Responsável Técnico pela Execução do Plano de Emergência Individual e do Responsável Técnico pela Redação do relatório;
- 8- fotos, mapas e outros documentos que ilustrem o desenvolvimento das ações de resposta.

Formulário 9E

Informação sobre o incidente

FORMULÁRIO 9E – Informação sobre o incidente				
Tipo de Incidente	<input type="checkbox"/> Vazamento de óleo <input type="checkbox"/> Liberação de gás <input type="checkbox"/> Explosão <input type="checkbox"/> Incêndio <input type="checkbox"/> Outros (especificar):			
Origem do Incidente (especificar localização geográfica)	<input type="checkbox"/> Plataforma <input type="checkbox"/> Barcos de Apoio <input type="checkbox"/> Outros (especificar):			
Data / Hora (local) da observação				
Data / Hora (local) estimada do incidente				
Causa do Incidente	<input type="checkbox"/> <i>sem condições de informar</i>			
Situação atual do incidente	<input type="checkbox"/> controlado <input type="checkbox"/> não controlado <input type="checkbox"/> <i>sem condições de informar</i>			
Descrição do incidente de vazamento de óleo (se aplicável)	Tipo de óleo	<input type="checkbox"/> Cru <input type="checkbox"/> Diesel <input type="checkbox"/> Lubrificante <input type="checkbox"/> Outro (especificar):		
	Volume vazado (m ³) <i>estimativa</i>	<input type="checkbox"/> <i>sem condições de informar</i>		
	Dimensões da mancha <i>estimativa</i>	<input type="checkbox"/> <i>sem condições de informar</i>		
	Aparência da mancha (<i>seção 8.3.4 do PEI</i>) (se possível)	<input type="checkbox"/> Pouco visível <input type="checkbox"/> Prateada <input type="checkbox"/> Brilhante <input type="checkbox"/> Opaca <input type="checkbox"/> Escura <input type="checkbox"/> Laranja acastanhada		
	Ventos e Correntes			
	Direção (<i>indicar ao lado</i>) Velocidade Vento (nós): Corrente (m/s):			
Condições do mar – Escala Beaufort				
Danos humanos		Pessoal próprio	Contratados	Terceirizados
	Fatalidades			
	Feridos			
	Desaparecidos			
Reportado por	Nome:	Função:		
Reportado para	Nome:	Função:		
Data e hora (local) desta comunicação				



Anexo 9-8

Formulários de Monitoramento da Mancha de Óleo

Formulário 9F

Registro do Monitoramento da Mancha

FORMULÁRIO 9F – Registro do Monitoramento da Mancha

Local do monitoramento:	Data do monitoramento:
	Hora do monitoramento:
Responsável pelo monitoramento:	
Condições meteorológicas e oceanográficas	
Velocidade do Vento:	Direção do Vento:
Velocidade da Corrente:	Direção da Corrente:
Altura das ondas:	Direção das Ondas:
Temperatura do Ar:	Temperatura da Água:
Descrever as condições gerais de tempo:	
Situação e deslocamento da mancha	
Tamanho Estimado da Mancha:	
Aparência da Mancha (Pouco visível, Prateada, Colorida Brilhante, Opaca, Escura, Emulsão):	
Volume Estimado de Óleo na Mancha:	
Direção do Movimento da Mancha:	
Esboço da Localização da Mancha:	

Formulário 9G

Registro da Forma e Grau de Impacto *Offshore*

FORMULÁRIO 9G – Registro da Forma e Grau de Impacto *Offshore*

Local do levantamento:		Data do levantamento:	
		Hora do levantamento:	
Responsável pelo levantamento:			
Grau de intemperização da mancha de óleo			
Estado líquido não intemperizado	Intemperização média	Alto grau de intemperização	
Espessura da mancha de óleo			
Pouco visível	Prateada	Brilhante	Opacada
			Escura
			Laranja acastanhada
Deslocamento da mancha:			
Impactos na fauna			
	Lesionados	Mortos	Observações:
Pássaros			
Mamíferos			
répteis			
Peixes			
Comentários:			

Formulário 9H

Registro da Forma e Grau de Impacto na Costa

FORMULÁRIO 9H – Registro da Forma e Grau de Impacto na Costa						
Local do levantamento:				Data do levantamento:		
				Hora do levantamento:		
Responsável pelo levantamento:						
Distribuição do óleo e extensão da costa afetada por categoria						
Distribuição do óleo	Largura da zona intermarés afetada					
	Larga (> 6 m)	Média (3 - 6 m)	Estreita (0,5 - 3 m)	Muito estreita (0 - 0,5 m)	Sem óleo	Total
Contínua						
Descontínua						
Fragmentada						
Esporádica						
Condições e grau de intemperização do óleo na superfície do sedimento						
Líquido não intemperizado	Emulsionado	Bolas de piche	Sólido intemperizado	Pavimento asfáltico		
Grau de infiltração do óleo na sub-superfície						
Sem infiltração	Traços de infiltração	Pouco infiltrado nos poros	Muito infiltrado nos poros	Pavimento asfáltico		
Impactos na fauna						
	Lesionados	Mortos	Observações:			
Pássaros						
Mamíferos						
Répteis						
Peixes						
Impactos na flora:						
Comentários:						

Formulário 9I

Registro das Ações de Resposta

FORMULÁRIO 9I – Registro das Ações de Resposta (1/2)

Local do derramamento:		Data do derramamento:			
Condições do derramamento					
<input type="checkbox"/> Seguro <input type="checkbox"/> Inseguro		Potencial remanescente (m ³): Vazão do derramamento (m ³ /h)			
Volume derramado (m ³)	Desde o último relatório		Total		
Balanco de massa de óleo (indicar unidade)					
Óleo recuperado					
Óleo evaporado					
Dispersado naturalmente					
Dispersado quimicamente					
Óleo no mar (contido)					
Óleo no mar (não contido)					
Óleo na costa					
Quantidade total de óleo derramado:					
Resíduos gerados (indicar unidade)					
	Recuperado	Estocado	Disposto		
Óleo					
Água oleosa					
Outros líquidos					
Sólidos oleosos					
Outros sólidos					
Extensão da costa afetada (indicar unidade)					
Grau de oleosidade	Afetado	Limpo	A ser limpo		
Leve					
Moderado					
Alto					
Impactos na fauna					
	Capturados	Limpos	Soltos	Mortos	Outros
Pássaros					
Mamíferos					
Répteis					
Peixes					
Total					
Discrição dos impactos sobre a flora:					

FORMULÁRIO 9I – Registro das Ações de Resposta (2/2)

Condições de segurança				
	Desde o último relatório	Total		
Lesão de pessoal envolvido na resposta				
Lesão a membros do público				
Equipamentos				
	Solicitado	Disponível	Em uso	Fora de serviço
Barco de combate a derramamento				
Barco de pesca				
Rebocador				
Barcaça				
Recolhedor				
Barreira (m)				
Barreira absorvente (m)				
Caminhão vácuo				
Helicópteros / outras aeronaves				
Recursos humanos				
	Pessoal em postos de comando	Pessoal no campo	Total de pessoas	
Pessoal próprio				
Pessoal contratado				
Autoridades				
Voluntários				
Número total de pessoas provenientes de todas as organizações:				
Comentários:				
Preparado por:			Data e hora:	



Anexo 10-1

Projeto de Controle da Poluição

PROJETO DE CONTROLE DA POLUIÇÃO

(Empresa de Perfuração)

O Projeto de Controle da Poluição, a ser implementado como uma das medidas mitigadoras de impactos advindos do empreendimento identificado no quadro abaixo, seguirá as diretrizes constantes da Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA nº 04/08 (<http://www.ibama.gov.br/licenciamento>).

Processo IBAMA n.º	Nome do empreendimento	Região (Obs.1)
02022.001143/08	ATIVIDADE DE PERFURAÇÃO MARÍTIMA NOS BLOCOS BM-C-39, BM-C-40, BM-C-4, BM-C-42 E BM-C-43, BACIA DE CAMPOS.	3

Obs. 1: Especificar a Região, conforme "Quadro 1 – Regionalização dos empreendimentos", constante da Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA nº 04/08.

Na implementação do Projeto, os quantitativos de resíduos gerados no empreendimento e dispostos em terra entrarão no cômputo das metas de disposição final para o conjunto de empreendimentos da Empresa na Região.

Responsável técnico pela implementação do Projeto de Controle da Poluição:	
Nome:	Leonardo Bravo de Martins Bastos
Cargo:	Analista de Meio Ambiente Senior
Assinatura:	



Anexo 10-2

Planilha de Monitoramento do Desembarque Pesqueiro

PLANILHA DE MONITORAMENTO DO DESEMBARQUE PESQUEIRO Folha 1

Item nº	1 – CADASTRO DO MESTRE				
1.1	Nome do mestre da embarcação:			Apelido:	
1.2	Pertence Associação de Classe: () Sim () Não Qual:				
1.3	Município de desembarque:			Local:	
	2- CADASTRO DA EMBARCAÇÃO				
2.1	Município de registro da embarcação:			Local:	
2.2	Tipo de Embarcação:		Nome da Embarcação:		
2.3	Inscrição da Capitania dos Portos:		Inscrição da SEAP:		
2.4	Porto de Origem:		Porto de Desembarque:		
2.5	Proprietário:			Apelido:	
2.6	Pesca Principal:		Arte Principal:		
2.7	Pesca Alternativa:		Arte Alternativa:		
2.8	Propulsão: () remo () vela () motor () outros				
2.9	Material do Casco: () Madeira () Fibra de Vidro () Alumínio () Ferro				
2.10	Sistema de Conservação: () Gelo () Frigorífico () Salga () Sem conservação () Outras				
2.11	Comprimento:	Tonelagem (TBA):		Nº de Tripulantes:	
2.12	Marca do Motor:	Nº de cilindros:		Potência (Kwa.):	
2.13	Autonomia de Mar (dias):				
2.14	Ano de Construção:	Utiliza bússola?		Utiliza GPS?	
2.15	Equipamento de comunicação: () SSB () VHF () PX () Cidadão () Celular/Nextel				
2.16	Espécie Permissionada:		Nº da Permissão:		
2.17	Nome Anterior da Embarcação:			Local de Origem:	
	3 - CADASTRO DA QUANTIDADE E TIPOS DE PETRECHOS POR EMBARCAÇÃO				
Tipo:	Quantidade:	Comprimento (metros)	Altura (metros)	Malha ou Nº de anzóis	Horas de uso:



PLANILHA DE MONITORAMENTO DO DESEMBARQUE PESQUEIRO

Folha 2



4 – CAPTURA DESEMBARCADA								
4.1 Município:			Localidade:		4.2 Data Saída: / /		Data Chegada: / /	
4.3 Tipo Arte Pesca:		Quantidade:	Comprimento (metros):		Altura (metros)		Malha/NºAnzóis	
Tipo Arte Pesca:		Quantidade:	Comprimento (metros):		Altura (metros)		Malha/NºAnzóis	
Tipo Arte Pesca:		Quantidade:	Comprimento (metros):		Altura (metros)		Malha/NºAnzóis	
4.4 Nº Pescadores:		Nome do pescador:		Local de Pesca: ()Dentro () Fora ()Não informou				
4.5 Coordenadas Geográficas: Lat:		Long:		Horas de Pesca:		Consumo de Combustível:		litros
4.6 Observações:								
4.7 Espécies	4.8 Peso (kg)	4.9 Valor do quilo	4.10 Petrecho	4.7 Espécies	4.8 Peso (kg)	4.9 Valor do quilo	4.10 Petrecho	
5 – Nome do Coletor de Dados				Assinatura:				





Anexo 15-1
Equipe Técnica OGX

 <p>Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis</p>  <p>CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE</p>			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
342861	022.090.097-31	20/08/2008	20/11/2008
<p>Nome/Razão Social/Endereço</p> <p>Gloria Maria dos Santos Marins Avenida Mal. Fontenelle 4311 Rua 1 C/28 Jardim Sulacap RIO DE JANEIRO/RJ 21750-000</p>			
<p>Este certificado comprova a regularidade no</p> <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> <p>Controle da Poluição Qualidade da Água Qualidade do Solo Gestão Ambiental</p>			
<p>Observações:</p> <p>1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente:</p> <p>2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema.</p> <p>3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente.</p> <p>4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.</p>		<p>A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie.</p> <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">6nqj.dfy9.4t6b.1wgr</p>	

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
195317	021.023.047-95	21/08/2008	21/11/2008
Nome/Razão Social/Endereço Leonardo Bravo de Martins Bastos Praia do Flamengo 154 quarto andar Flamengo RIO DE JANEIRO/RJ 22210-030			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> <p>Controle da Poluição Gestão Ambiental</p>			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">reqc.qlx6.ljrq.pgw9</p>	

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)



 <p>Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis</p>  <p>CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE</p>			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
1478014	722.949.147-91	20/08/2008	20/11/2008
<p>Nome/Razão Social/Endereço</p> <p>Maria de Fatima Ribeiro Damasceno Silva Rua Alte. Cochrane, 78/301 Tijuca RIO DE JANEIRO/RJ 20550-040</p>			
<p>Este certificado comprova a regularidade no</p> <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> <p>Educação Ambiental</p>			
<p>Observações:</p> <p>1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente;</p> <p>2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema.</p> <p>3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente.</p> <p>4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.</p>		<p>A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie.</p> <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">nwls.5t3f.lrxl.s2wr</p>	

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)





Anexo 15-2



Equipe Técnica HABTEC

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
198582	35.808.948/0001-52	26/08/2008	26/11/2008
Nome/Razão Social/Endereço HABTEC ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL LTDA AV. TREZE DE MAIO, 13 - GRUPO 1.508 CENTRO RIO DE JANEIRO/RJ 20003-900			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultoria Técnica Ambiental - Classe 6.0</p> <p>Auditoria Ambiental Ecosistemas Terrestres e Aquáticos Educação Ambiental Qualidade da Água Qualidade do Ar Recuperação de Áreas Recursos Hídricos Uso do Solo Controle da Poluição Gestão Ambiental Qualidade do Solo Serviços Relacionados À Silvicultura</p>			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">sd5m.5bx3.h79k.1sk1</p>	



[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
900531	095.099.587-86	26/08/2008	26/11/2008
Nome/Razão Social/Endereço Aline Barros Martins Rua Engenheiro Clovis Daudt 60 Água Santa RIO DE JANEIRO/RJ 20740-440			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> Educação Ambiental Gestão Ambiental Auditoria Ambiental Recursos Hídricos Uso do Solo Recuperação de Áreas			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">7ygj.t5ev.rv8f.7rx1</p>	



[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
895389	090.768.187-54	12/08/2008	12/11/2008
Nome/Razão Social/Endereço Camila Patrício Gonçalves Engenheiro Augusto Bernachi 109 apt 301 Vila da Penha RIO DE JANEIRO/RJ 21235-720			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> Ecosistemas Terrestres e Aquaticos Educação Ambiental Gestão Ambiental Qualidade da Água Segurança do Trabalho			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">i5bt.zevf.nacl.5859</p>	

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 <p>Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis</p>  <p>CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE</p>			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
199066	051.627.477-50	26/08/2008	26/11/2008
<p>Nome/Razão Social/Endereço</p> <p>CAROLINE ANNE PURCELL AV. TREZE DE MAIO, 13 - GRUPO 1.508 CENTRO RIO DE JANEIRO/RJ 20003-900</p>			
<p>Este certificado comprova a regularidade no</p> <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> <p>Ecosistemas Terrestres e Aquáticos Educação Ambiental Qualidade da Água Recuperação de Áreas Controle da Poluição Gestão Ambiental Recursos Hídricos</p>			
<p>Observações:</p> <p>1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente;</p> <p>2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema.</p> <p>3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente.</p> <p>4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.</p>		<p>A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie.</p> <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">6na1.yjku.8wym.dmfj</p>	

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 <p>Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis</p>  <p>CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE</p>			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
635935	085.047.187-78	12/08/2008	12/11/2008
<p>Nome/Razão Social/Endereço</p> <p>DANIEL DIAS LOUREIRO Av. Treze de Maio, 13 - Grupo 1508 Centro RIO DE JANEIRO/RJ 20003-900</p>			
<p>Este certificado comprova a regularidade no</p> <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> <p>Ecosistemas Terrestres e Aquáticos Qualidade da Água Gestão Ambiental</p>			
<p>Observações:</p> <p>1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente.</p> <p>2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema.</p> <p>3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente.</p> <p>4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.</p>		<p>A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie.</p> <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">bklg.4ug8.saf4.3yae</p>	



[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
1226397	094.094.297-65	26/08/2008	26/11/2008
Nome/Razão Social/Endereço Daniel Medina Corrêa Santos Rua Candido Benício, 1050 apt 406 Jacarepaguá RIO DE JANEIRO/RJ 21320-060			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> <p>Auditoria Ambiental Ecosistemas Terrestres e Aquaticos Educação Ambiental Gestão Ambiental Qualidade do Solo Recuperação de Áreas Recursos Hídricos Uso do Solo</p>			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">gyme.9dn4.7ckm.ztqs</p>	



[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
199040	174.287.937-34	27/08/2008	27/11/2008
Nome/Razão Social/Endereço DOMINGOS NICOLLI Rua Senador Vergueiro, 92/Ap. 1304 Flamengo RIO DE JANEIRO/RJ 22230-001			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> Controle da Poluição Ecossistemas Terrestres e Aquaticos Educação Ambiental Qualidade do Ar Auditoria Ambiental Eletricidade Gestão Ambiental			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">4pfd.glpa.rxqh.5lna</p>	



[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
2579989	079.388.017-39	27/08/2008	27/11/2008
Nome/Razão Social/Endereço FABIO REIS MOTA Rua Lemos Cunha, 348 - Apt.201 - Bloco C Icaraí NITEROI/RJ 24230-136			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> <p>Educação Ambiental Gestão Ambiental</p>			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">9r7q.5hqi.uysu.buea</p>	

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
521176	090.188.807-95	26/08/2008	26/11/2008
Nome/Razão Social/Endereço Giselle da Silveira Abílio Rua Comandante Miguelote Viana, 116 Icaraí NITEROI/RJ 24220-195			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> <p>Educação Ambiental Qualidade do Solo Ecossistemas Terrestres e Aquáticos Qualidade da Água Controle da Poluição</p>			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">j4b1.6gk3.4utn.zriq</p>	

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
1582525	018.466.297-48	26/08/2008	26/11/2008
Nome/Razão Social/Endereço José Policarpo de Mendonça Neto Rua Domingos Ferreira 95/601 Copacabana RIO DE JANEIRO/RJ 22050-010			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Atividades Potencialmente Poluidoras</p> <p>Uso de Recursos Naturais / criador de passeriformes silvestres nativos</p> <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> <p>Ecosistemas Terrestres e Aquáticos Educação Ambiental Gestão Ambiental Recuperação de Áreas Recursos Hídricos</p>			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente; 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">2p69.92hc.viqm.te65</p>	



[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
199217	042.671.657-42	26/08/2008	26/11/2008
Nome/Razão Social/Endereço KAREN LOPES DINUCCI AV. TREZE DE MAIO, 13 - GRUPO 1.508 CENTRO RIO DE JANEIRO/RJ 20003-900			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> <p>Ecosistemas Terrestres e Aquáticos Educação Ambiental Qualidade da Água Recuperação de Áreas Serviços Relacionados À Silvicultura Uso do Solo Controle da Poluição Gestão Ambiental Recursos Hídricos</p>			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">9slj.9lvs.1h2v.nyax</p>	



[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
239267	068.459.237-10	26/08/2008	26/11/2008
Nome/Razão Social/Endereço LUIZ CLÁUDIO COSENDEY SILVA AV. TREZE DE MAIO, 13 - GRUPO 1.508 CENTRO RIO DE JANEIRO/RJ 20003-900			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> Auditoria Ambiental Controle da Poluição Gestão Ambiental Qualidade da Água Recuperação de Áreas Ecossistemas Terrestres e Aquaticos Qualidade do Solo Recursos Hídricos			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: right;">Autenticação</p> <p style="text-align: right;">11ct.vg7r.ieel.lafr</p>	



[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

		Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE					
Nr. de Cadastro:		CPF/CNPJ:		Emitido em:	
873046		988.121.657-53		12/08/2008	
				Válido até:	
				12/11/2008	
Nome/Razão Social/Endereço MARCELO SEMERARO DE MEDEIROS Rua Alberto Moreira, 70 Água Santa RIO DE JANEIRO/RJ 20740-450					
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> <p>Auditoria Ambiental Ecossistemas Terrestres e Aquáticos Gestão Ambiental Qualidade da Água</p>					
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.			A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie.		
			Autenticação e6fg.fric.3k34.3ahm		

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
1911317	832.775.607-91	26/08/2008	26/11/2008
Nome/Razão Social/Endereço MÔNICA GRIPP TAVARES Av. Treze de Maio, 13 - Grupo 1508 Centro RIO DE JANEIRO/RJ 20031-901			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> <p>Gestão Ambiental</p>			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">zq6f.pgkr.cwvy.n55t</p>	



[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
2577870	056.590.497-37	26/08/2008	26/11/2008
Nome/Razão Social/Endereço NELSON SOARES DA ROCHA FILHO RUA MAJOR PARDAU JUNIOR, 47 FONSECA NITEROI/RJ 24130-260			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> <p>Auditoria Ambiental Controle da Poluição Educação Ambiental Gestão Ambiental</p>			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">nqyj.jiuu.jayl.vtm8</p>	



[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
3079917	014.119.716-12	21/08/2008	21/11/2008
Nome/Razão Social/Endereço Paula Manuela Gomes Souza Rua Pereira da Silva, 244 ap 101 Laranjeiras RIO DE JANEIRO/RJ 22221-140			
Este certificado comprova a regularidade no <div style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</div> Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0 Anilhamento de Aves Silvestres Controle da Poluição Ecossistemas Terrestres e Aquaticos Gestão Ambiental Qualidade da Água Qualidade do Solo Recuperação de Áreas			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente: 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <div style="text-align: center;"> Autenticação uir6.s1lb.9fjh.nib1 </div>	



[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
41948	362.321.906-10	26/08/2008	26/11/2008
Nome/Razão Social/Endereço PAULO FERNANDO REZENDE AV. TREZE DE MAIO, 13 - GRUPO 1.508 CENTRO RIO DE JANEIRO/RJ 20003-900			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> Educação Ambiental Eletricidade Qualidade do Solo Recuperação de Áreas Auditoria Ambiental Gestão Ambiental			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">sa7p.17xf.zqnx.5glx</p>	



[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 <p>Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis</p>  <p>CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE</p>			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
332167	092.051.117-16	26/08/2008	26/11/2008
<p>Nome/Razão Social/Endereço</p> <p>PEDRO SELIG BOTAFOGO Rua Anibal de Mendonça, 72 / 202 Ipanema RIO DE JANEIRO/RJ 22410-050</p>			
<p>Este certificado comprova a regularidade no</p> <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> <p>Controle da Poluição Ecosistemas Terrestres e Aquáticos Gestão Ambiental Recuperação de Áreas Recursos Hídricos Auditoria Ambiental Educação Ambiental</p>			
<p>Observações:</p> <p>1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente.</p> <p>2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema.</p> <p>3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente.</p> <p>4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.</p>		<p>A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie.</p> <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">3bm1.ilq6.14fl.61wl</p>	



[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 <p>Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis</p>  <p>CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE</p>			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
1888309	018.025.207-08	26/08/2008	26/11/2008
<p>Nome/Razão Social/Endereço</p> <p>SIMONE MASRUHA RIBEIRO RUA MARECHAL CANTUÁRIA, 28 APTO. 301 URCA RIO DE JANEIRO/RJ 22291-060</p>			
<p>Este certificado comprova a regularidade no</p> <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> <p>Educação Ambiental Gestão Ambiental</p>			
<p>Observações:</p> <p>1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente;</p> <p>2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema.</p> <p>3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente.</p> <p>4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.</p>		<p>A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie.</p> <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">5uaf.yylv.lt7f.l9q7</p>	



[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
3111630	105.747.207-74	27/08/2008	27/11/2008
Nome/Razão Social/Endereço TATIANA DOS SANTOS ROCHA Rua Gastão da Cunha, 121 Vila Valqueire RIO DE JANEIRO/RJ 21330-520			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> <p>Auditoria Ambiental Educação Ambiental Gestão Ambiental Recuperação de Áreas Recursos Hídricos Uso do Solo</p>			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">ibs3.4qre.m91z.wwxi</p>	

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
1583356	216.432.058-11	26/08/2008	26/11/2008
Nome/Razão Social/Endereço Tatiane Cristina Moraes de Sousa Av. 26, 312 VI. Aparecida RIO CLARO/SP 13550-500			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> <p>Ecosistemas Terrestres e Aquáticos Gestão Ambiental Qualidade da Água Recuperação de Áreas Recursos Hídricos</p>			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">u4qw.32qq.2ll8.y34t</p>	

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
210150	051.912.667-06	26/08/2008	26/11/2008
Nome/Razão Social/Endereço VIVIANE SEVERIANO DOS SANTOS AV. TREZE DE MAIO, 13 - GRUPO 1.508 CENTRO RIO DE JANEIRO/RJ 20003-900			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> <p>Ecosistemas Terrestres e Aquáticos Qualidade da Água</p>			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">1z1d.lk6i.kc88.waik</p>	

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)