



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA POLITÉCNICA & ESCOLA DE QUÍMICA
PROGRAMA DE ENGENHARIA AMBIENTAL

Rodrigo Zapelini Possobon

Vazamentos de Óleo: Uma proposta de dimensionamento de barreiras
para estuários

Rio de Janeiro

2012



UFRJ

Rodrigo Zapelini Possobon

Vazamentos de Óleo: Uma proposta de dimensionamento de barreiras
para estuários

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Paulo Victor Rodrigues de Carvalho, D.Sc.

Orientador

Rio de Janeiro

2012

Possobon, Rodrigo Zapelini.
Vazamentos de Óleo: Uma proposta de
dimensionamento de barreiras para estuários / Rodrigo
Zapelini Possobon. - 2012.
137 f.: il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio
de Janeiro, Escola Politécnica & Escola de Química,
Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro,
2012.

Orientador: Paulo Victor Rodrigues de Carvalho

1. Vazamento de Óleo. 2. Dimensionamento de recursos.
3. Operações de Resposta. 4. Estuários
I. de Carvalho II. Universidade Federal do Rio de
Janeiro. Escola Politécnica e Escola de Química. III.
Vazamentos de Óleo: Uma proposta de
dimensionamento de barreiras para estuários.



UFRJ

Vazamentos de Óleo: Uma proposta de dimensionamento de barreiras
para estuários

Rodrigo Zapelini Possobon

Paulo Victor Rodrigues de Carvalho, D.Sc.

Orientador

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada pela Banca:

Presidente, Paulo Victor Rodrigues de Carvalho, D.Sc., UFRJ

Cláudia do Rosário Vaz Morgado, D.Sc., UFRJ

Ângelo Sartori Neto, D.Sc., PETROBRAS

Maria Egle Cordeiro Setti, D.Sc., UFRJ

Rio de Janeiro

2012

Dedico este trabalho a minha esposa, que foi meu alicerce, minha sanidade e meu alento.

AGRADECIMENTOS

Uma lista de agradecimentos é algo perigoso, uma vez que invariavelmente alguém que deveria ser citado acaba sendo obliterado pela enormidade de pessoas, que direta ou indiretamente, que consciente ou mesmo sem saber, acabaram por dar um auxílio neste trabalho executado a milhares de mãos. A vocês eu agradeço:

- A minha esposa – Vanessa, por não me deixar desistir e me compreender;
- Aos meus pais – Carmem e Dagoberto;
- Ao meu irmão – Rafael;
- A “japoreca” – Beatriz;
- Ao meu amigo e colega de jornada acadêmica e de trabalho – Gustavo;
- Ao meu orientador – Professor Paulo Victor;
- Aos meus chefes – Patricia, Raimundo e Fernando;
- Aos meus colegas de TSPO – Ana Paula, Barroco, Bruno, Dayan, Élviton, Érica, José Paulo, Lussandra, Márcio e Michael. Em especial a Henrique e Michael Volcker, pelo auxílio na pesquisa bibliográfica e a Carlos Renato pela produção de mapas;
- Aos demais colegas de CPRA;
- A minha cunhada e cunhado – Natália e Al, pela tradução;
- A equipe do PEA – Denise e Valéria, por todo o apoio durante o programa;
- Aos especialistas em atendimento a vazamento de óleo – Eliezer, Jonh, Nasareno e Handerson, por colaborarem com a sua enorme experiência no atendimento em áreas costeiras;
- Aos colegas da UO-SEAL – Moisés e Sebastião, por disponibilizarem o material de exercícios simulados; e finalmente
- A força desconhecida que nos impulsiona e que faz com que a aventura do existir seja possível.

Temos essa mania insana de medir e calcular...

Só não podemos esquecer que o essencial é invisível aos olhos e é imensurável...

RESUMO

POSSOBON, Rodrigo Zapelini. **Vazamentos de óleo**: Uma proposta de dimensionamento de barreiras para estuários. Rio de Janeiro, 2012. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

A intensidade das atividades da indústria do petróleo, desde a exploração até o consumo de derivados no retalho, continua crescente. Todas as etapas desta indústria apresentam riscos intrínsecos de acidentes com vazamento. No mundo uma série de convenções e tratados internacionais versam sobre a necessidade de prontidão de resposta para eventuais acidentes. O Brasil conta com um arcabouço legal a respeito preparação para vazamentos, porém esta legislação é vaga quanto a critérios para dimensionamentos de recursos na zona costeira, cabendo principalmente ao empreendedor a proposição de justificativas para o inventário de recursos disponíveis para atender acidentes originados no seu empreendimento. Desta forma os empreendedores ficam sujeitos a subjetividade na avaliação dos órgãos licenciadores e os técnicos dos órgãos licenciadores ficam órfãos de critérios para embasar suas decisões. Este trabalho propôs um critério de dimensionamento de barreiras para execução de estratégias de proteção, contenção e deflexão em estuários. A proposta foi baseada em critérios disponíveis na literatura e na legislação nacional de países chave, bem como em convenções internacionais. O dimensionamento de recursos humanos foi baseado em entrevistas com profissionais de vasta experiência. A proposta considera a análise de risco, a modelagem probabilística dos cenários acidentais que resultem em vazamento de óleo ou derivados para os corpos hídricos, a sensibilidade ambiental dos componentes de valor ambiental existentes nos estuários, as características e limitações das barreiras e finalmente as características dos estuários em si.

Palavras-chave: Vazamento de Óleo; Dimensionamento de Recursos; Operações de Resposta; Plano de Emergência; Estuário

ABSTRACT

POSSOBON, Rodrigo Zapelini. **Vazamentos de óleo**: Uma proposta de dimensionamento de barreiras para estuários. Rio de Janeiro, 2012. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

The intensity of activities in the oil industry, from exploration to the retail of oil derivatives to the consumer, continues to grow. Each stage of this industry contains an inherent risk of accidental spillage. Worldwide, a set of international conventions and treaties have established the need for appropriate response readiness to possible accidents. Brazil has created a legal framework concerning protection against accidental spillage to provide guidance to the industry. This legislation, however, is vague about the dimensioning of resources in coastal regions, leaving the individual corporation to justify its inventory of available resources to meet accidents originating from its own operations. In this way, corporations are subject to oversight from licensing and technical agencies and suffer from a lack of criteria on which to base their decisions. This paper proposes a sizing criterion for booms to be used in the implementation of protection, containment, and deflection strategies in estuaries. The proposal is based upon criteria identified in available literature, the national legislation of several key countries, and established international conventions, as well on interviews with experienced professionals. The proposal considers the risk analysis, probabilistic modeling of scenarios that result in the spillage of oil and/or its derivatives into bodies of water, sensitivity of the existing environmental components in the estuaries, the characteristics and limitations of the booms, and finally the characteristics of the estuaries themselves.

Keyword: Oil spill; Dimensioning of resources; Response operation; Response plan; Estuarie

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 – Produção de óleo e consumo de combustíveis (Fonte: ANP, 2011).	2
Figura 1-2 – Distribuição de poços perfurados no Brasil em 2010. Fonte: ANP, 2011.	3
Figura 1-3 – Distribuição da produção de óleo no Brasil em 2010. Fonte: ANP, 2011.	3
Figura 1-4 – Malha brasileira de dutos (Fonte: ANP, 2011).	4
Figura 1-5 – Grandes incidentes com vazamento de óleo (e derivados). Em destaque os vazamentos com ocorridos em território brasileiro ou suas proximidades (CETESB, 2011; FINGAS, 2011).	5
Figura 1-6 – Frações típicas do petróleo (Adaptado de THOMAS, 2004).	7
Figura 3-1 – Isobutano, um exemplo de parafina ramificada.	15
Figura 3-2 – Ciclopropano, um exemplo de nafta.	15
Figura 3-3 – Exemplos de cadeias insaturadas.	15
Figura 3-4 – Benzeno, o mais simples dos compostos aromáticos.	16
Figura 3-5 – Características das classes de óleos (Adaptado de THOMAS, 2004).	17
Figura 3-6 – Classificação API para a densidade relativa dos óleos.	19
Figura 3-7 – Quadro com a classificação da persistência de óleos (ITOPF, 2011).	21
Figura 3-8 – Processos de intemperismo do óleo vazado na água (Adaptada de FINGAS, 2011).	23
Figura 3-9 – Espalhamento do óleo.	25
Figura 3-10 – Composição vetorial da advecção do óleo causada por ventos e correntes.	25
Figura 3-11 – Resultados de deriva de um mesmo vazamento utilizando modelos hidrodinâmicos diferentes. Cada modelo hidrodinâmico apresenta pontos fortes e fragilidades dependendo da situação. Todos os modelos devem ser utilizados de forma a gerar uma área de incerteza (Fonte: FINGAS, 2011).	29
Figura 3-12 – Sentidos de deriva do óleo real e prevista no acidente do T/V Puerto Rican. O círculo representa a área de incerteza. As ferramentas de previsão de deriva devem ser utilizadas com cautela (Fonte: FINGAS, 2011).	30
Figura 3-13 – Lagoa dos Patos, RS. Um exemplo de estuário formado por barra (Fonte: SCHWOCHOW & ZANBONI, 2007).	33

Figura 3-14 – Unidades geoambientais do estuário do rio Acaraú. Exemplo de estuário em planície costeira (Fonte: ARAÚJO & FREIRE 2007).	34
Figura 3-15 – Valores de ISL conforme a 3ª versão da NOAA e comparação com a classificação adotada pelo Ministério do Meio Ambiente (adaptado de NOAA, 2005 e BRASIL, 2002).	49
Figura 3-16 – Cores dos índices de sensibilidade litorânea (adaptado de NOAA, 2002).	50
Figura 3-17 – Símbolos para representação de componentes ambientais e sócio-econômicos nas cartas SAO (Fonte: BRASIL, 2002).	52
Figura 3-18 – Representação de sazonalidade de componentes sensíveis ao óleo de janeiro a março (Fonte: IMO & IPIECA, 1994).	53
Figura 3-19 – Formas de uso de barreiras (Adaptado de: OEBIUS, 1999).	57
Figura 3-20 – Configurações de barreiras utilizando embarcações.	58
Figura 3-21 – Formações ancoradas nas margens.	59
Figura 3-22 – Configuração de barreiras em sequência para deflexão.	60
Figura 3-23 – Principais elementos das barreiras (Fonte: FINGAS, 2011).	61
Figura 3-24 – Formas de ancoragem de barreiras em terra (Fonte: OEBIUS, 1999).	63
Figura 3-25 – Principais dimensões das barreiras.	63
Figura 3-26 – Exemplo de barreira tipo cerca (Fonte: INTERNATIONAL DIRECTORY OF OIL SPILL CLEANUP CONTRACTORS, 2011).	65
Figura 3-27 – Fotos com barreiras tipo cortina. À esquerda, uma barreira com gomos. À direita, uma barreira contínua (Fonte: INTERNATIONAL DIRECTORY OF OIL SPILL CLEANUP CONTRACTORS, 2011).	65
Figura 3-28 – Barreira para selar a costa ou de interface (Fonte: INTERNATIONAL DIRECTORY OF OIL SPILL CLEANUP CONTRACTORS, 2011).	65
Figura 3-29 – Exemplos de falhas que levam a passagem do óleo pela barreira (Fonte: FINGAS, 2011).	66
Figura 3-30 – Barreiras durante maré enchente e maré vazante (Fonte: USCG, 2001).	72
Figura 3-31 – Limites de vento para operação com barreiras (adaptado de ROBERTSON & KUMAR, 2008 <i>apud</i> FINGAS, 2011).	73
Figura 3-32 – Velocidades críticas de correnteza por ângulo de disposição das barreiras de deflexão (Adaptado de FINGAS, 2011).	76

Figura 3-33 – Matriz com a quantidade mínima de recursos humanos em função do número de frentes de trabalho e do comprimento máximo de barreiras manipuladas em uma frente de trabalho. _____	81
Figura 3-34 – Proporção de pessoal com elevada e baixa capacitação em função da complexidade das operações. _____	82
Figura 3-35 – Definição do tipo de barreiras em função da intensidade média de ventos. _____	83
Figura 3-36 – Tipo de âncora apropriada para cada tipo de substrato. _____	85
Figura 3-37 – Matriz com a quantidade mínima de recursos humanos em função do número de frentes de trabalho e do comprimento máximo de barreiras manipuladas em uma frente de trabalho. _____	86
Figura 3-38 – Proporção de pessoal com elevada e baixa capacitação em função da complexidade das operações. _____	86
Figura 4-1 – Mapa do estuário do rio Vaza-Barris (Fonte: PETROBRAS, 2011a). _____	88
Figura 4-2 – Foto da foz do rio Vaza-Barris (Fonte: PETROBRAS, 2011a). _____	89
Figura 4-3 – Detalhe da carta de sensibilidade litorânea ao óleo com ênfase no estuário do rio Vaza-Barris (Adaptado de: PETROBRAS, 2011a). _____	90
Figura 4-4 – Localização das plataformas e do estuário do rio Vaza-Barris. _____	91
Figura 4-5 – Mapa de vulnerabilidade ambiental de derrames de óleo oriundos das atividades nos campos de Camorim, Dourado e Guaricema (Fonte: PETROBRAS, 2011a). _____	92
Figura 4-6 – Localização das instalações com recursos de resposta e do estuário do rio Vaza-Barris. _____	93
Figura 4-7 – Foto da instalação das barreiras de deflexão no rio Vaza-Barris durante o exercício simulado do dia 25/10/2011 (Fonte: PETROBRAS, 2011b). _____	94
Figura 4-8 – Quadro com os parâmetros necessários para o cálculo da máxima distância do inventário de recursos. _____	95
Figura 4-9 – Comparação entre as características e quantidades de recursos para resposta existentes e os dimensionados. _____	99

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3-1– Fórmula para cálculo da densidade em °API. _____	19
Equação 3-2 – Tempo de resposta. _____	70
Equação 3-3 – Relação entre tempo de resposta e tempo de toque de óleo no estuário. _____	71
Equação 3-4 – Distância máxima entre o inventário e o estuário. _____	71
Equação 3-5 – Cálculo do calado de barreiras para contenção em estuários. ____	73
Equação 3-6 – Simplificação do cálculo de barreiras para contenção na foz do estuário. _____	74
Equação 3-7 – Cálculo de comprimento de barreiras para contenção em corpos hídricos segundo a CONAMA 398/08 considerando somente a largura dos corpos hídricos. _____	75
Equação 3-8 – Cálculo de comprimento de barreiras para contenção em corpos hídricos segundo a CONAMA 398/08 considerando somente a largura dos corpos hídricos. _____	75
Equação 3-9 – Definição do tempo de resposta para o estuário fictício. _____	82
Equação 3-10 – Distância máxima entre o inventário e o estuário. _____	83
Equação 3-11 – Cálculo do tamanho da saia das barreiras. _____	84
Equação 4-1 – Distância máxima entre o inventário e o estuário do rio Vaza-Barris. _____	95
Equação 4-2 – Cálculo da saia das barreiras no estuário do rio Vaza-Barris. ____	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

BP – *British Petroleum Company*

CEDRO – Capacidade Efetiva Diária de Recolhimento de Óleo

CEDROdpc – Capacidade Efetiva Diária de Recolhimento de Óleo para descarga de pior caso

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CVA – Componente de Valor Ambiental

DNV – *Det Norske Veritas*

E&P – Exploração e Produção de Óleo

EC – Environment Canada

ETC – Environment Technology Centre

EPI – Equipamento de Proteção Individual

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IMO – *International Maritime Organization*

IPIECA – *International Petroleum Industry Environmental Conservation Association*

ISL – Índice de Sensibilidade Litorânea

ITOPF – *International Tanker Owners Pollution Federation Limited*

MARPOL – *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships*

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NEBA – *Net Environmental Benefit Analysis* (Análise de Benefício Ambiental Líquido)

NOAA – *National Oceanic and Atmosphere Administration*

NORSOK – *Norwegian Technology Standards Institution Oscarsgate*

NTS – *Norwegian Technology Standards Institution*

OLF – *Oljeindustriens Landsforening* (Associação das Indústrias do Petróleo Norueguesas)

OPRC – *International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response and Co-Operation*

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SINDEC – Sistema Nacional de Defesa Civil

STOp – *Scientific, Technical and Operational advice note*

UK – *United Kingdom*

UM – Unidade Marítima

USA – *United States of America*

USCG – *United States Coast Guard*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Justificativas	7
1.3. Objetivos	9
1.3.1. Objetivos Gerais	9
1.3.2. Objetivos específicos	10
2. METODOLOGIA	11
3. DESENVOLVIMENTO	14
3.1. Análise de Risco	14
3.2. Modelagem do comportamento do óleo vazado	22
3.3. Caracterização dos Estuários	32
3.3.1. Impactos na biota	36
3.3.2. Impactos nos ecossistemas	42
3.3.3. Impactos nas atividades humanas	45
3.3.4. Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo	47
3.4. Barreiras para resposta a vazamento de óleo	54
3.4.1. Elementos das barreiras	60
3.4.2. Tipos de barreiras	64
3.4.3. Limitações no uso de barreiras	66
3.5. Dimensionamento de barreiras em estuários	67
3.5.1. Localização dos estoques de barreiras e tempos de resposta	69
3.5.2. Definição das especificações das barreiras	72
3.5.3. Barreiras para contenção e deflexão na foz do estuário	74
3.5.4. Dimensionamento de barreiras para proteção de componentes de valor ambiental	76
3.5.5. Dimensionamento de equipamentos acessórios	78

3.5.6. Dimensionamento de Recursos Humanos e de Equipamentos de Proteção _____	79
3.6. Sumarização do Critério de Dimensionamento _____	82
3.6.1. Definição de distância máxima entre o inventário e o estuário _____	82
3.6.2. Definição da especificação das barreiras _____	83
3.6.3. Cálculo da quantidade de barreiras para deflexão e proteção na foz _____	84
3.6.4. Cálculo da quantidade de barreiras para proteção de componentes de valor ambiental _____	84
3.6.5. Dimensionamento de equipamentos acessórios _____	85
3.6.6. Dimensionamento de recursos humanos _____	85
4. APLICAÇÃO EM ESTUÁRIO REAL _____	87
4.1. Estuário do rio Vaza-Barris _____	87
4.1.1. Descrição do empreendimento _____	91
4.1.2. Descrição do incidente _____	94
4.1.3. Aplicação dos critérios de dimensionamento _____	95
4.1.4. Comparação entre os recursos utilizados no incidente com os recursos dimensionados _____	98
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES _____	100
6. REFERÊNCIAS _____	104

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A indústria do petróleo, em todos os seus aspectos, desde a exploração de novos campos petrolíferos até a disponibilização dos combustíveis refinados nos postos de distribuição, passando pela produção do óleo, pelo transporte de óleo e derivados e pelo refino, é uma realidade na nossa sociedade e no futuro de curto e médio prazo. Em todos os aspectos desta indústria existe o risco de vazamento de óleo ou derivados para o meio ambiente com consequências negativas para os ecossistemas e atividades humanas (FINGAS, 2011).

O consumo mundial de óleo em 2010 foi o maior registrado até aquele momento, chegando a 87,4 milhões de barris por dia, um incremento de 3,2% em relação ao consumo registrado em 2009 (BP, 2011). A produção de óleo necessária para atender esta demanda também tem crescido ao longo do tempo, tendo passado de 80,3 em 2009 para 82,1 milhões de barris por dia em 2010 (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP, 2011). Esta crescente produção tem ocorrido tanto em bacias sedimentares terrestres quanto em bacias sedimentares marinhas, que vem apresentando crescimento contínuo desde a década de 50, ganhando importância e volume na medida em que a produção dos reservatórios terrestres tem entrado em declínio (FURTADO, 1996). A figura 1-1 apresenta os valores de produção de combustíveis derivados do petróleo e o consumo de combustíveis, incluindo os biocombustíveis, do ano 2000 até o ano 2010. Conforme é possível observar, a produção e o consumo tem apresentado crescimento anual, exceto nos anos 2008 e 2009, provavelmente em função da retração da economia mundial nestes anos.

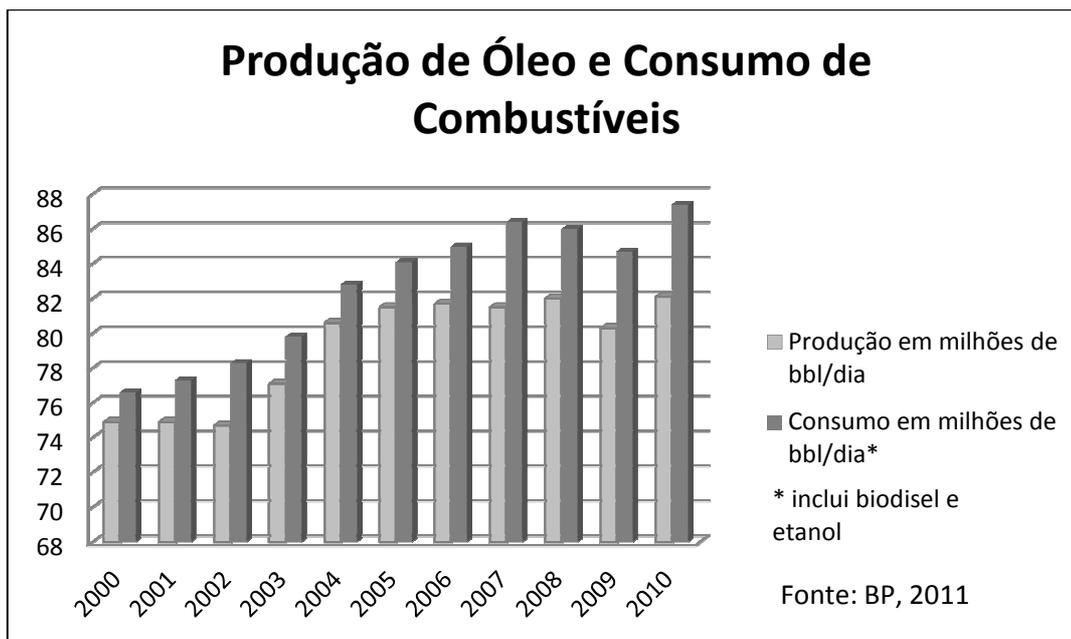


Figura 1-1 – Produção de óleo e consumo de combustíveis (Fonte: ANP, 2011).

No Brasil, existe grande intensidade de atividade de E&P nas bacias marinhas. No ano de 2010, 221 poços marítimos foram perfurados, um equivalente a 28% do total de poços perfurados neste ano, sendo os restantes localizados em bacias terrestres. O número de descobertas de reservatórios no mar representou 67% do total de descobertas. 93,6% das reservas brasileiras em 2010 localizavam-se no mar, um valor incrementado pelas descobertas no Pré-Sal, este também um grande reservatório marítimo. O Brasil ocupa a 15ª posição na lista de países com as maiores reservas de petróleo e a 12ª posição entre os países produtores de petróleo, com uma produção em 2010 de 750 milhões de barris, dos quais 91,2% ocorreu no mar (AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP, 2011).

A figura 1-3 apresenta os percentuais de poços perfurados em áreas terrestres e marítimas no Brasil no ano de 2011 segundo a ANP e a figura 1-2 apresenta os percentuais de produção em poços terrestres e marítimos no Brasil em 2011. Apesar do maior número de poços perfurados em terra, é no mar que ocorre a maior parte da produção de óleo brasileira e onde são encontrados os reservatórios com maior volume.

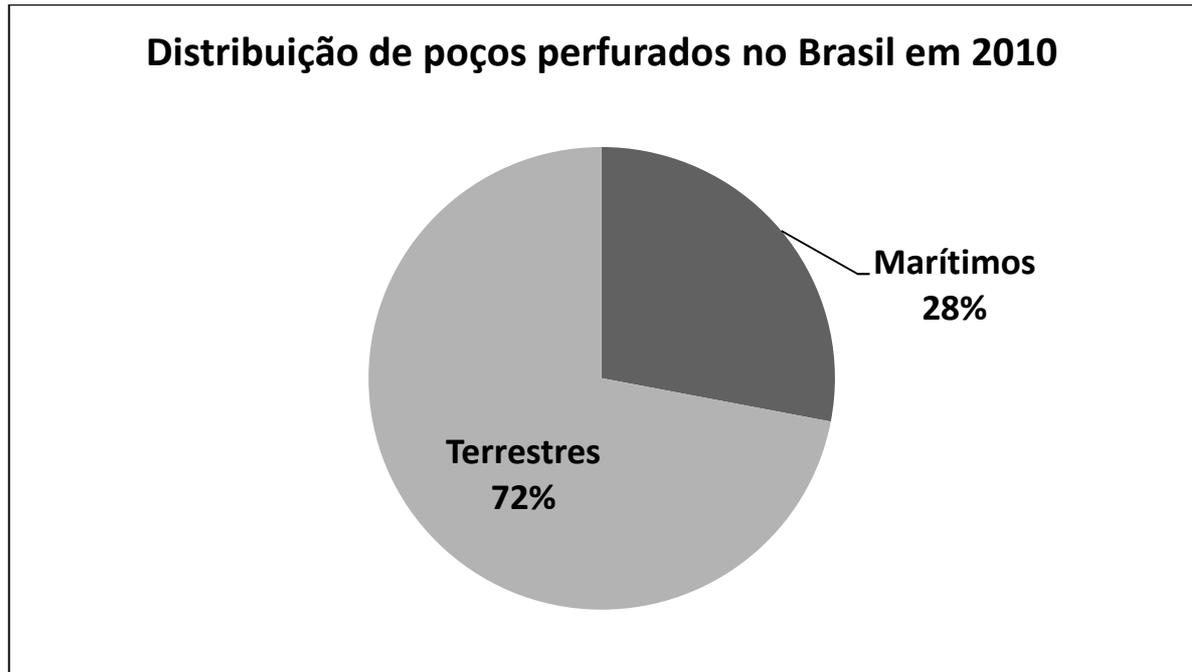


Figura 1-2 – Distribuição de poços perfurados no Brasil em 2010. Fonte: ANP, 2011.

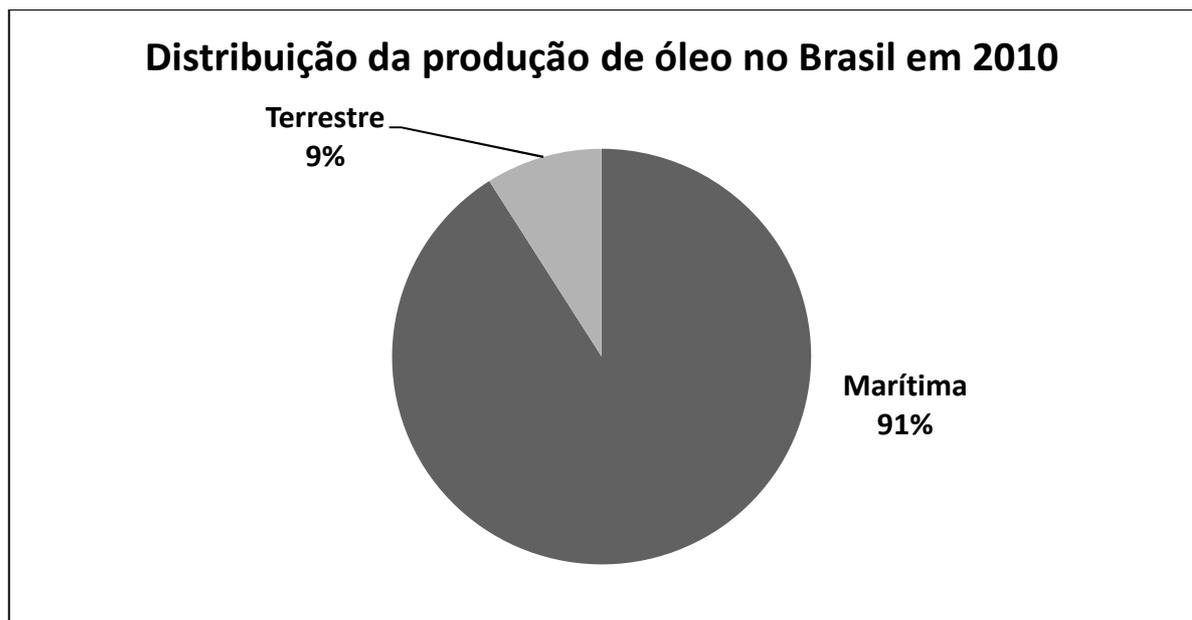


Figura 1-3 – Distribuição da produção de óleo no Brasil em 2010. Fonte: ANP, 2011.

As crescentes produção e consumo do petróleo vem incrementando paulatinamente a intensidade e a frequência do transporte tanto do petróleo quanto dos seus derivados (LA ROVERE, 1990 *apud* CARDOSO, 2007). No Brasil, o transporte de óleo e derivados ocorre pelos modais dutoviários, ferroviários, rodoviários, fluviais e marítimos. Conforme pode ser observado no mapa da figura 1-4, a malha dutoviária brasileira se concentra no litoral e na região sudoeste, com a interligação a outros países restrita ao Gasoduto Brasil-Bolívia, desta forma a importação e exportação necessitam de outros modais para ocorrer, principalmente

a navegação de cabotagem e navegação de longo curso, ambos modais que apresentam riscos de vazamento com potencial para contaminação de ambientes costeiros.

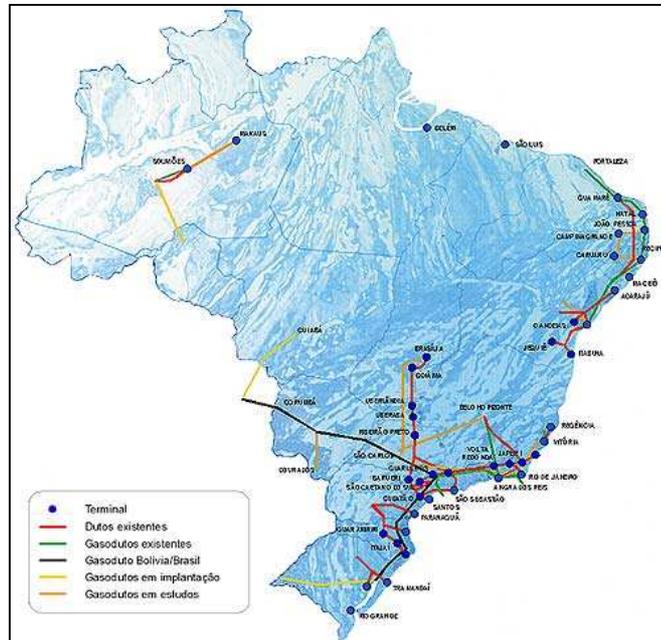


Figura 1-4 – Malha brasileira de dutos (Fonte: ANP, 2011).

Todas as atividades da indústria do petróleo possuem o risco intrínseco de vazamento de óleo (INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION – IPIECA, 2005), materializado em diversos incidentes com grande repercussão pública, tais como o ocorrido em 1989, no Alasca com o navio tanque *Exxon Valdez* e o recente acidente com unidade marítima *Deepwater Horizon*, em 2010, no golfo do México; bem como em uma série de pequenos vazamentos rotineiros de baixa ou nula repercussão na mídia. A figura 1-4 apresenta um quadro com as datas e os volumes de vazamentos de óleo com maior repercussão e/ou maior volume de óleo vazado, com destaque para os ocorridos no território brasileiro ou nas suas proximidades.

Nome do incidente	Ano	Estimativa de volume vazado (em toneladas)	País
Poços de petróleo na Guerra do Golfo	1991	71.428.571	Kuwait
Lakeview Gusher	1909	1.227.600	Estados Unidos
Terminal Min al Ahmadi	1991	857.143	Kuwait
Ixtoc I	1979	476.190	México
Deepwater Horizon	2010	470.779 a 162.337	Estados Unidos
Fergana Valley	1990	299.320	Uzbequistão
T/V Atlantic Empress	1979	286.354	Trinidad e Tobago
Duto Kharyaga/Usinsk	1994	285.714	Rússia
T/V Amoco Cadiz	1978	233.565	França
Poço D-103	1980	142.857	Líbia
T/V Torrey Canyon	1967	129.857	Reino Unido
T/V Exxon Valdez	1989	119.000	Estados Unidos
T/V Prestige	2002	77.000	Espanha
T/V Sinclair Petrolore	1960	66.530	Brasil – Espírito Santo
Refinaria Sendai	1978	60.204	Japão
PEMEX Abkatun 91	1986	35.286	México
Montara	2009	30.000	Austrália
T/V Takimia Maru	1974	6.000	Brasil – São Paulo
T/V Brazilian Marina	1978	6.000	Brasil – São Paulo
T/V Tarik ibn Ziyad	1975	6.000	Brasil – Rio de Janeiro
Vicuña	2004	5.000	Brasil – Paraná
Oleoduto REPAR	2000	4.000	Brasil – Paraná
Oleoduto Bertioga	1983	2.500	Brasil – São Paulo
Afundamento da P-36	2001	1.550	Brasil – Bacia de Campos
Baía de Guanabara	2000	1.300	Brasil – Rio de Janeiro
Oleoduto Vila Socó	1984	1.200	Brasil – São Paulo

Figura 1-5 – Grandes incidentes com vazamento de óleo (e derivados). Em destaque os vazamentos com ocorridos em território brasileiro ou suas proximidades (CETESB, 2011; FINGAS, 2011).

Diversos autores consideram que os chamados grandes incidentes com vazamentos de óleo contribuem com uma quantidade relativamente pequena de óleo quando comparada com os vazamentos pequenos e rotineiros das diversas atividades humanas, porém com maior repercussão na mídia e junto à população (OEBIUS, 1999; IMO, 2006; SOUZA FILHO, 2006 *apud* CARDOSO, 2007).

O impacto causado pelo óleo depende da própria composição do óleo, do volume vazado, das características físicas da área atingida, das condições

meteorológicas e climatológicas, das características da flora e da fauna existentes e do tipo de ocupação econômica existente (INTERNATIONAL TANKERS OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2011). O óleo por si só apresenta valores variados de toxicidade nos organismos. O recobrimento de óleo na fauna e flora causa mortandade por sufocamento, perda de regulação térmica e dificuldades de locomoção, dentre outros impactos. As atividades econômicas como a pesca, o turismo e a navegação são severamente restringidos durante estes eventos e durante as operações de resposta a estes eventos (CARMONA *et al.*, 2003 *apud* CARDOSO, 2007).

Segundo Hollnagel (2010) a resiliência de um sistema é dada por quatro habilidades:

1. Capacidade de reagir aos acontecimentos;
2. Capacidade de acompanhar os acontecimentos em curso;
3. Capacidade de antecipar futuras ameaças/oportunidades; e
4. Capacidade de aprender com fracassos/sucessos passados.

Assim sendo, a preparação para resposta a vazamentos de óleo baseada na análise de risco e vulnerabilidade de um empreendimento desenvolve duas destas habilidades:

- A antecipação de futuras ameaças, pela análise de risco e pela análise de vulnerabilidade; e
- O desenvolvimento da capacidade de reagir a acontecimentos, pelo planejamento prévio da capacidade de resposta.

Neste trabalho, será desenvolvida uma proposta de melhoria na resiliência de empreendimentos *offshore* da indústria do petróleo baseada no dimensionamento de recursos para resposta a vazamentos de óleo em ambientes sensíveis.

Considerando as vastas variedades de recursos e de ambientes sensíveis, o trabalho irá focar em um único tipo de recurso (barreiras) para um único tipo de ambiente sensível (estuários).

1.2. JUSTIFICATIVAS

O petróleo é um sinônimo de diversas misturas complexas de hidrocarbonetos de origem mineral e outros compostos químicos diversos (THOMAS, 2004; FINGAS, 2011). Durante o refino, esta mistura complexa é fracionada em compostos mais ou menos homogêneos, com características e comportamentos similares dentro de cada fração. A figura 1-6 apresenta um quadro com as frações típicas do óleo.

Fração	Temperatura de ebulição (°C)	Composição aproximada*	Usos
Gás residual	-	C ₁ – C ₂	Gás combustível
Gás liquefeito	< 40	C ₃ – C ₄	Gás combustível engarrafado
Gasolina	40 - 175	C ₅ – C ₁₀	Combustível de automóveis e solventes
Querosene	175 - 235	C ₁₁ – C ₁₂	Combustível de aeronaves e iluminação
Gasóleo leve	235 - 305	C ₁₃ – C ₁₇	Diesel e fornos
Gasóleo pesado	305 - 400	C ₁₈ – C ₂₅	Combustível e matéria prima para lubrificantes
Lubrificantes	400 - 510	C ₂₆ – C ₃₈	Lubrificantes
Resíduo	> 510	> C ₃₈	Asfalto, piche, impermeabilizante

* Número de átomos de carbono que formam as moléculas.

Figura 1-6 – Frações típicas do petróleo (Adaptado de THOMAS, 2004).

O óleo, quando atinge os corpos hídricos, sofre uma série de fenômenos físicos, químicos (INTERNATIONAL TANKERS OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPIF, 2011) e biológicos, deslocando as partículas de óleo e alterando a sua composição, estado e propriedades físico-químicas (FINGAS, 2011). Parte destes fenômenos está relacionada com a movimentação das partículas de óleo e parte está relacionada com a mudança de características físico-químicas, recebendo o nome de intemperismo. Desta forma, as estratégias e equipamentos de resposta para um vazamento de óleo fresco podem ser completamente diversos dos utilizados em um óleo já intemperizado.

Após o petróleo ou seus derivados vazarem para os corpos hídricos e sofrerem toda sorte de processos de intemperismo, podem ser transportados para ambientes costeiros causando impactos negativos nos ecossistemas e nas

atividades humanas ali existentes. Alguns dos ecossistemas e atividades humanas mais sensíveis ao óleo estão localizados em estuários (NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION – NOAA, 2002), que basicamente são locais em que o mar adentra uma bacia hidrográfica (Fairbridge, 1980 *apud* Duarte & Vieira, 1997).

Dentre os ecossistemas passíveis de serem encontrados em estuários citam-se manguezais, marismas, apicum, planícies de maré e dunas (SCHAEFFER-NOVELLI, [2003]; ARAÚJO & FREIRE, 2007; OLIVEIRA, FERREIRA & ASMUS, 2009). As atividades humanas comuns em estuários são desporto, pesca, portos, estaleiros, concentrações urbanas, aquicultura, extrativismo de madeira, turismo, agricultura e transporte (PRITCHARD, 1967; DUARTE & VIEIRA, 1997; ARAÚJO & FREIRE, 2007; SOARES, LINS & CÂNDIDO, 2007; POFFO, 2007).

Estes ecossistemas e estas funções sócio-ambientais são extremamente sensíveis a poluição por óleo, de forma que em um incidente de vazamento de óleo sua proteção deve ser priorizada, e uma vez contaminados, todos os esforços devem ser empreendidos para acelerar sua recuperação (NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION – NOAA, 2002).

De forma a mitigar as consequências de eventos de poluição por óleo, regulamentações nacionais e internacionais demandam de empreendedores e governos a organização e preparação de estruturas de resposta para vazamentos (BRASIL, 2000; CANADIAN MINISTER OF JUSTICE, 2011; INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION – IMO, 2006).

No Brasil a lei federal 9.966, de 28 de abril de 2000 estabelece a necessidade de empreendimentos, tais como portos organizados, instalações portuárias e plataformas, bem como suas instalações de apoio, em dispor de planos de emergência individual (PEI) para combater a poluição por óleo. A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de número 293, de 12 de dezembro de 2001, substituída em 12 de junho de 2008 pela resolução CONAMA 398, estabelece o conteúdo mínimo dos PEI e estabelece, no seu anexo III, os critérios de dimensionamento da capacidade mínima de resposta.

Os critérios descritos no anexo III da Resolução CONAMA 398/08 são claros para a resposta junto à fonte de vazamento, porém tornam-se um pouco subjetivos quando o óleo se aproxima de áreas sensíveis, tais como estuários e corais.

Como é na região costeira que os impactos sócio-econômicos e ambientais dos vazamentos de óleo apresentam maior visibilidade e até maior gravidade (PURNELL, 1999) e como a estratégia de resposta no mar possuem eficiência limitada, é necessária a elaboração de critérios que auxiliem no dimensionamento da capacidade de resposta para a zona costeira (PIMENTEL, 2007).

A ausência de critérios claros dificulta o planejamento dos empreendedores interessados em desenvolver uma atividade que envolva riscos de vazamento de hidrocarbonetos, uma vez que estes ficam sujeitos a subjetividade na avaliação dos órgãos licenciadores de atividades potencialmente poluidoras, bem como dificulta o próprio trabalho dos técnicos responsáveis pelo licenciamento, que carecem de critério objetivo para sustentar suas decisões.

1.3. OBJETIVOS

Considerando o exposto acima, os objetivos deste trabalho são:

1.3.1. Objetivos Gerais

Este trabalho tem como objetivos gerais:

- Propor um critério de dimensionamento de barreiras para a resposta (*tier 2*) a vazamentos de óleo que atinjam estuários, baseado no estado da arte, na legislação nacional de países referência, na análise de risco dos empreendimentos e no comportamento estimado do óleo vazado; e
- Validar o critério proposto em um estuário real, através da comparação dos recursos utilizados na resposta a um vazamento com os recursos previstos pela aplicação do critério proposto.

1.3.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Revisão e compilação do referencial teórico especializado, focado no estado da arte do dimensionamento de recursos de resposta a vazamentos de óleo, em especial barreiras, materiais auxiliares e recursos humanos em estuários;
- Revisão e compilação de regulamentações nacionais e internacionais de países e organizações de referência relativas ao dimensionamento dos recursos de resposta a vazamentos de óleo, em especial barreiras, materiais auxiliares e recursos humanos em estuários;
- Identificação dos parâmetros do petróleo e derivados que influenciam no dimensionamento de barreiras, materiais auxiliares e recursos humanos em estuários;
- Identificação dos parâmetros sócio-ambientais dos estuários, relevantes para o dimensionamento de barreiras, materiais auxiliares e recursos humanos em estuários;
- Identificação de parâmetros sócio-ambientais que justifiquem o uso de barreiras nas operações de resposta a vazamentos de óleo; e
- Organização dos critérios de dimensionamento de barreiras, materiais auxiliares e recursos humanos em estuários na forma de um procedimento prático.

2. METODOLOGIA

A proposta de dimensionamento de recursos de barreiras para a resposta a vazamentos de óleo em estuários desenvolvida neste trabalho foi baseada nos conceitos, orientações e critérios existentes no estado da arte, bem como nas normas, regulações, orientações e critérios existentes na legislação específica de países de referência e em normas e convenções internacionais, preferencialmente aquelas em que o Brasil é signatário. Devido a ausência de critérios para dimensionamento de recursos humanos em operações de resposta a vazamentos de óleo, foram feitas entrevistas com profissionais com mais de dez anos de experiência em atendimento a vazamentos de óleo.

Os critérios de dimensionamento foram propostos para segundo nível de resposta, ou *tier 2*, considerando que o atendimento em locais vulneráveis já se encontram fora dos limites da capacidade de resposta do empreendimento, ou *tier 1*.

Foi feito um levantamento referencial intensivo e focado em critérios, conceitos, orientações, normas e regulações de dimensionamento de recursos de resposta a vazamentos de óleo, em especial, no dimensionamento de barreiras, equipamentos acessórios e recursos humanos necessários para a operação.

O referencial, de forma geral, indicou como necessário o embasamento dos critérios de dimensionamento em:

- Análise de risco dos empreendimentos;
- Estimativa do comportamento do óleo vazado;
- Análise da vulnerabilidade dos ambientes;
- Características físicas dos ambientes vulneráveis;
- Limitações e características dos recursos de resposta;
- Necessidades logísticas para transporte e instalação de recursos de resposta; e
- Aspectos de segurança na mobilização, deslocamento, instalação e operação dos recursos.

Para desenvolvimento dos critérios de dimensionamento foi necessário descrever cada um dos conceitos e técnicas acima listados e identificar como esses conceitos e técnicas podem ser aplicados no dimensionamento de recursos para

resposta a vazamentos de óleo de forma geral, e em específico para barreiras em estuários.

Após a definição critério amplo de dimensionamento de recursos, foi feito um levantamento específico das características e limitações das barreiras para resposta a vazamentos de óleo. As informações obtidas neste levantamento serviram como subsídio para refinar os critérios de dimensionamento.

Também foi feito um levantamento específico de características dos estuários, dos ecossistemas e atividades localizados nos estuários que influenciam no dimensionamento de barreiras de resposta. As informações obtidas neste levantamento também serviram como subsídio para refinar os critérios de dimensionamento.

Os profissionais com experiência em atendimento a vazamentos de óleo foram selecionados no rol de empregados das empresas brasileiras com reconhecida expertise no assunto. Dentre estes profissionais, foram selecionados somente os profissionais com mais de dez anos de experiência. O questionário que norteou a entrevista foi estruturado de forma a posicionar o profissional em uma situação de resposta em estuários voltada a proteção de componentes sensíveis, a partir deste posicionamento, a sequência de perguntas buscava identificar quais fatores são considerados pertinentes na seleção de equipamentos e definição de recursos humanos. O roteiro do questionário utilizado nas entrevistas segue apresentado no Anexo “A – Roteiro das Entrevistas”. O resultado das entrevistas foi compilado e as principais recomendações identificadas foram utilizadas para compor o critério de dimensionamento de recursos humanos. As atas das entrevistas seguem apresentadas no Anexo “B – Atas das Entrevistas”.

Os critérios de dimensionamento propostos foram aplicados no estuário do rio Vaza-Barris, em Aracaju. Este estuário foi selecionado por estar na área vulnerável do empreendimento de exploração e produção de óleo nos campos de Dourado, Guaricema e Camorim e por terem sido realizadas operações de resposta neste estuário em função do exercício simulado de resposta ao vazamento de óleo a partir do referido empreendimento.

Foi realizada uma comparação entre:

- Os tempos de resposta estimados e os tempos de resposta executados;
- As características e quantidades de barreiras utilizadas e as barreiras estimadas pelo critério;
- As características e quantidades de equipamentos auxiliares utilizados e os estimados; e
- As quantidades de recursos humanos utilizados e os estimados.

As diferenças entre o executado e estimado foram discutidos nas conclusões deste trabalho.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. ANÁLISE DE RISCO

Para que um empreendimento demande de forma embasada recursos de resposta a vazamentos de óleo em um determinado estuário, a primeira etapa é realizar uma análise de risco do empreendimento.

A análise de risco é um tipo de estudo que levanta todo potencial de risco de um empreendimento ou ação, e o classifica em função da frequência histórica de ocorrência e do grau de severidade das suas consequências (DEPARTMENT OF DEFENSE – DoD, 2000). A análise deve ser a mais completa possível e possibilitar a identificação de quais hipóteses acidentais apresentam risco do óleo atingir os corpos hídricos.

Conforme será apresentado na sequência, a análise de risco deverá ser capaz de alimentar os modelos matemáticos responsáveis pela estimativa do comportamento e deslocamento do óleo. Desta forma a análise de risco deve apresentar:

- As características físico-químicas dos óleos que apresentam risco de vazamento;
- Os volumes estimados de óleo vazado (se possível, com o volume mais frequente e o volume de pior caso);
- Os regimes de vazamento esperados;
- A localização da origem dos vazamentos.

O óleo de cada reservatório de petróleo e seus derivados apresentam características diferentes, tais como conteúdo de gases, coloração, conteúdo de metais, concentração de enxofre, concentração de frações de hidrocarbonetos e conteúdo de água (THOMAS, 2004). Cada mistura, dependendo da sua composição, possui características físico-químicas diferentes que influenciam na sua intemperização e no seu deslocamento na coluna d'água, bem como na eficiência das operações de resposta a vazamentos (FINGAS, 2011).

Os óleos brutos podem apresentar na sua composição o predomínio de um tipo de hidrocarboneto, que irá determinar, de forma geral, as suas características específicas.

Os tipos de compostos normalmente encontrados no óleo são (adaptado de THOMAS, 2004 e FINGAS, 2011):

- Parafinas normais – Também chamados de alcanos. Formados unicamente por cadeiras lineares de carbonos associadas a átomos de hidrogênio. Vão desde o metano, com um único átomo de carbono até cadeias com diversos carbonos. Cadeias com menos de 18 átomos de carbono são os mais facilmente intemperizados. Cadeias com 18 ou mais átomos de carbono são chamadas de ceras ou graxas.
- Parafinas ramificadas – Também chamados de isoparafinas ou isoalcanos. São parafinas com uma ou mais ramificações na cadeia carbônica. A figura 3-1 apresenta um exemplo de parafina ramificada.

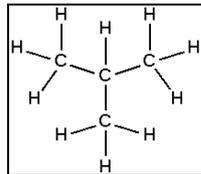


Figura 3-1 – Isobutano, um exemplo de parafina ramificada.

- Naftas – Também chamadas de parafinas cíclicas. São cadeias parafínicas que formam anéis fechados. A figura 3-2 apresenta um exemplo de nafta.

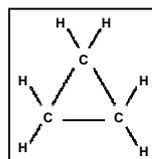


Figura 3-2 – Ciclopropano, um exemplo de nafta.

- Insaturados – Também chamadas de olefinas. Cadeias carbônicas com presença de duplas ou triplas ligações. São facilmente biodegradados. A figura 3-3 apresenta exemplos de cadeias insaturadas.

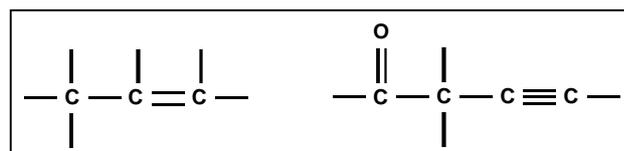


Figura 3-3 – Exemplos de cadeias insaturadas.

- Aromáticos – São formados por um ou pela combinação de dois ou mais anéis aromáticos. Os anéis aromáticos são formados por seis átomos de carbono em cadeia fechada, com ligações simples e duplas

alternadas. São bastante estáveis e voláteis. Pela sua estabilidade tendem a ser persistentes no meio ambiente. A figura 3-4 apresenta o benzeno, o mais simples dos aromáticos.

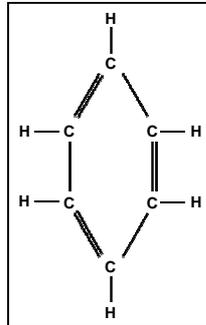


Figura 3-4 – Benzeno, o mais simples dos compostos aromáticos.

- Compostos sulfurados – O enxofre pode estar presente no petróleo na forma de sulfetos, gases sulfídricos, enxofre elementar e como integrante das cadeias carbônicas. Óleos mais densos tendem a possuir maior conteúdo em enxofre. Além disso, o enxofre aumenta a polaridade do petróleo, facilitando a formação de emulsões. Também aumenta a toxicidade do óleo e a sua queima forma componentes de precipitações ácidas.
- Compostos nitrogenados – No petróleo, o nitrogênio tende a integrar as cadeias carbônicas. Também facilitam a formação de emulsões.
- Compostos oxigenados – O oxigênio tende a integrar as cadeias carbônicas. A sua associação a cadeias carbônicas tende a formar compostos ácidos.
- Resinas e asfaltenos – Moléculas grandes, com alta razão carbono/hidrogênio e presença de enxofre, oxigênio e nitrogênio. Os asfaltenos não são solúveis no petróleo e formam colóides, além de não serem voláteis. Já as resinas são solúveis e apresentam volatilidade, dependendo do seu peso molecular. As resinas são compostos polares, em grande parte responsáveis pela adesão do óleo.
- Compostos metálicos – Os metais podem estar presentes na forma de sais e na forma de compostos carbono metálicos. Os metais que podem ocorrer no petróleo são: ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu),

chumbo (Pb), molibdênio (Mo), cobalto (Co), arsênio (As), manganês (Mg), cromo (Cr), sódio (Na), níquel (Ni) e vanádio (V). O níquel e o vanádio são os metais com maior incidência no petróleo.

Os óleos podem ser classificados em função da concentração dos compostos na sua composição em parafínicos, parafínicos-naftênicos, naftênicos, aromáticos intermediários, aromáticos-naftênicos e aromáticos-asfálticos. Cada classe de óleos apresenta comportamentos distintos. A figura 3-5 apresenta uma síntese das características e comportamento de cada uma das classes.

	Parafínico	Parafínicos-naftênicos	Naftênicos	Aromáticos intermediários	Aromáticos-naftênicos	Aromáticos-asfálticos
Parafina (%)	>75%	50 – 70%	-	-	Residual	-
Nafta (%)	-	>20%	>70%	>50%	>35%	-
Resinas e Asfaltenos (%)	Baixo	-	-	10-30%	-	>35%
Densidade	Leve	Leve, maior que os parafínicos	-	Pesado	Pesado	-
Ponto de fluidez	Alto	-	-	-	-	-
Viscosidade	Baixa exceto quando possui parafinas de cadeia longa	Baixa, maior que os parafínicos	-	-	-	Elevada
Teor de enxofre	Baixo	Baixo	Baixo	Elevado	-	Elevado

Figura 3-5 – Características das classes de óleos (Adaptado de THOMAS, 2004).

As principais propriedades do óleo que afetam as técnicas de resposta são:

- Densidade;
- Densidade Relativa;
- Solubilidade;
- Viscosidade;
- Ponto de fluidez;
- Ponto de fulgor;
- Frações de destilação;
- Tensa interfacial;
- Pressão de vapor; e
- Persistência do Óleo.

Segundo Fingas (2011) outras propriedades interessantes para as operações de resposta, porém dificilmente levantadas pelos empreendedores, são:

- Conteúdo de enxofre;
- Conteúdo de água;
- Estabilidade das emulsões com água salgada;
- Facilidade de dispersão e
- Adesão ao aço.

A **densidade** é a massa de um dado volume de óleo. É tipicamente expresso em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3).

Óleos mais densos tendem a ser formados por cadeias carbônicas mais longas. À medida que o óleo é intemperizado a densidade tende a aumentar. A densidade é normalmente expressa em **densidade relativa** à densidade da água a 15°C , sendo adimensional e denominada gravidade específica ou densidade relativa.

A **densidade relativa** de um óleo é determinante na sua flutuabilidade. Óleos, de maneira geral, possuem gravidade específica menor que um, ou seja, flutuam na água. A água salgada possui densidade relativa maior que a água doce, aumentando a capacidade de flutuação dos óleos. Em estuários esta situação pode acrescentar dificuldades adicionais às operações de resposta, uma vez que óleos que apresentam flutuabilidade em água salgada podem submergir quando encontram águas doces.

Na indústria do petróleo, a densidade relativa costuma ser expressa em graus API (°API). A densidade expressa em graus API é inversa a densidade relativa, ou seja, óleos com maiores valores de grau API são menos densos. A equação para cálculo da densidade em graus API é apresentada na equação 3-1.

Equação 3-1 – Fórmula para cálculo da densidade em °API.

$$^{\circ}API = \frac{141,5}{\rho} - 131,5$$

Onde,

ρ = Densidade do óleo a 15°C em relação à água a 15°C

O *American Petroleum Institute* (API) classifica os óleos em pesados e leves com base na sua densidade API, conforme apresentado no quadro da figura 3-6.

° API	Tipo de Óleo
> 30	Leve
22 - 30	Médio
10 - 22	Pesado
< 10	Muito Pesado

Figura 3-6 – Classificação API para a densidade relativa dos óleos.

A **solubilidade** na água indica a quantidade do óleo que pode ser dissolvida na coluna d'água. A maior parte dos compostos solúveis é tóxica aos organismos marinhos quando em concentrações elevadas. A exceção de óleos leves, os óleos apresentam baixa solubilidade (FINGAS, 2011).

A **viscosidade** de um óleo é dada pela resistência ao movimento. Óleos mais viscosos (i.e.: com maiores valores de viscosidade) escoam com maior dificuldade.

A viscosidade é influenciada pela temperatura do óleo. Quanto maior a temperatura, menor a viscosidade. A temperatura da água em que o óleo for derramado será determinante na definição da viscosidade (FINGAS, 2011).

Óleos leves tendem a apresentar menor viscosidade. Óleos de maior viscosidade não se espalham facilmente (OEBIUS, 1999), não penetram com facilidade nos sedimentos e são difíceis de recolher e bombear.

A viscosidade pode ser medida e expressa de duas formas:

- Viscosidade dinâmica ou absoluta – cuja unidade no sistema internacional de unidades (SI) é o Newton.segundo/metro quadrado (N.s/m²), que é equivalente ao Pascal.segundo (Pa.s).
- Viscosidade cinemática – cuja unidade no SI é o milímetro quadrado/segundo (mm²/s), porém é mais comumente expressa em Stokes (St) ou centiStokes (cSt), que é equivalente a mm²/s.

A razão entre viscosidade dinâmica (em mPa.s) e cinemática (em CST) é igual a densidade (em mg/L).

O **ponto de fluidez** indica a temperatura abaixo do qual um fluido leva mais que um determinado tempo para verter de um recipiente padrão.

Óleos com predominância de compostos com elevada polaridade, tais como ceras diminuem o ponto de fluidez.

Esta propriedade influencia significativamente no espalhamento do óleo.

O **ponto de fulgor** indica a temperatura em que um líquido gera vapor suficiente para entrar em ignição. Um líquido será considerado inflamável se apresentar ponto de fulgor menor que 60°C. Óleos inflamáveis apresentam maiores riscos em operações de resposta. Felizmente o ponto de fulgor tende a aumentar à medida que os componentes voláteis do óleo se dissipam (FINGAS, 2011).

As **frações de destilação** indicam o volume ou o percentual do óleo evaporado em determinadas temperaturas. Além de ser uma informação útil no refino do óleo, auxilia as operações de resposta indicando a composição do óleo e a sua taxa de evaporação (*ibidem*).

A **tensão interfacial**, também chamada de tensão superficial, indica a força de repulsão entre as moléculas que compõem o petróleo e a água. Juntamente com a viscosidade, indica a velocidade de espalhamento do óleo na água. Tensões interfaciais menores facilitam o espalhamento (FINGAS, 2011).

A **pressão de vapor** indica qual a concentração de óleo na forma de vapor se forma sobre a superfície da fração líquida em uma determinada temperatura. A pressão de vapor diminui conforme o óleo se intemperiza (*ibidem*).

Uma das características mais importantes do óleo quando se trata da avaliação dos impactos sócio-ambientais causados por um vazamento é a **persistência do óleo** no ambiente. A persistência indica o período de tempo em que o óleo vazado resistirá a biodegradação e demais ações de intemperismo.

Esta persistência depende, de maneira grosseira, do tamanho das cadeias orgânicas predominantes na composição do petróleo. Desta forma, a persistência está intimamente relacionada com a densidade.

O ponto de fluidez também influi na persistência, uma vez que o espalhamento do óleo determina a área de contato disponível para a ação do intemperismo.

A *International Tankers Owners Pollution Federation Limited* – ITOPF (2011) classifica a persistência dos óleos em quatro níveis, conforme apresentado no quadro da figura 3-7.

Grupo	Persistência	° API	Ponto de Fluidez
I	Não-Persistente	> 45	N/A
II	Pouco Persistente	35 - 45	N/A
III	Persistente	17,5 - 35	N/A
IV	Muito Persistente	< 17,5	> 30°C

Figura 3-7 – Quadro com a classificação da persistência de óleos (ITOPF, 2011).

Óleos não persistentes (Grupo I) tendem a evaporar e/ou dissolver em pouco tempo e não formar emulsões, enquanto óleos muito persistentes (Grupo IV) possuem baixo espalhamento, pequena taxa de evaporação e facilidade de formar emulsões com água quando submetidos à agitação (INTERNATIONAL TANKERS OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2011).

A análise de risco também deve apresentar os volumes estimados de óleo que podem ser derramados. No Brasil, a Resolução CONAMA nº 398 de 2008 apresenta as formas de cálculo dos volumes de óleo que podem ser derramados nos empreendimentos da indústria de petróleo, além de portos, marinas, estaleiros e clubes náuticos. Infelizmente a resolução apresenta apenas o método de cálculo do volume de pior caso, ignorando os volumes médios esperados e a componente da frequência histórica das tipologias de acidentes.

As análises de risco também devem apresentar o regime de vazamento esperado, dividido em vazamentos contínuos ou instantâneos. No caso de vazamentos contínuos, pode ser apresentada a vazão esperada e tempo estimado para a interrupção do vazamento.

A localização dos pontos esperados do vazamento também é indicada na análise de risco. Assim, a análise de risco considera o sistema de drenagem, a localização dos tanques, reservatórios e dutos.

Todas estas informações são importantes para elaborar o estudo que estima o comportamento do óleo vazado.

3.2. MODELAGEM DO COMPORTAMENTO DO ÓLEO VAZADO

O óleo, quando atinge os corpos hídricos, sofre fenômenos físicos, químicos (INTERNATIONAL TANKERS OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2011) e biológicos, deslocando as partículas de óleo e alterando a sua composição, estado e propriedades físico-químicas (FINGAS, 2011). Parte destes fenômenos está relacionada com a movimentação das partículas de óleo e parte está relacionada com a mudança de características físico-químicas, recebendo o nome de intemperismo.

Segundo Ferreira (2006), a modelagem computacional é a forma mais prática de simular as consequências de diferentes cenários acidentais que envolvam vazamento de óleo nos corpos hídricos, inclusive verificando quais locais da costa, inclusive estuários, estão sujeitos a contaminação por óleo. Os resultados da modelagem computacional dos cenários acidentais com vazamento de óleo identificados na análise de risco permitem estimar a trajetória de deslocamento do óleo e o intemperismo sofrido pelo óleo (FINGAS, 2011).

A seleção da quantidade e características dos equipamentos de resposta a um vazamento de óleo que atinja um estuário depende das condições e do volume de óleo que chegam aos ecossistemas (*ibidem*).

Desta forma, as estratégias e equipamentos de resposta para um vazamento de óleo fresco podem ser completamente diversos dos utilizados em um óleo já intemperizado.

Os fenômenos de deslocamento do óleo modelados são:

- Espalhamento;
- Afundamento; e
- Advecção.

Os fenômenos de intemperismo do óleo modelados são:

- Evaporação;
- Dispersão;
- Dissolução;
- Sedimentação ou entranhamento;
- Emulsificação;
- Foto-oxidação;
- Biodegradação.

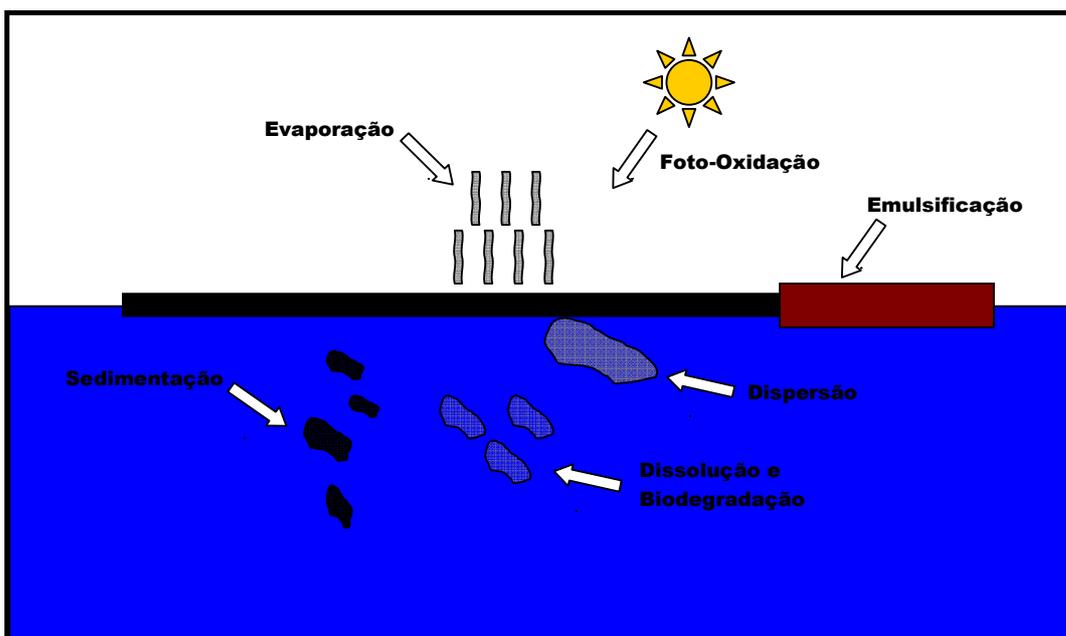


Figura 3-8 – Processos de intemperismo do óleo vazado na água (Adaptada de FINGAS, 2011).

A maioria dos processos de intemperismo, excetuando-se a emulsificação, leva a remoção do óleo da superfície do mar. A emulsificação, pelo contrário, incrementa a persistência do óleo e a sua viscosidade (INTERNATIONAL TANKERS OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2011).

De maneira geral, a tendência das características do óleo intemperizado é (FINGAS, 2011):

- Aumento linear da densidade com o intemperismo;
- Aumento não linear da viscosidade com o intemperismo; e
- Aumento reduzido da tensão superficial com o intemperismo.

A ocorrência e a intensidade destes processos dependem do volume de óleo, das características do óleo e das condições de tempo e de mar (INTERNATIONAL TANKERS OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2011).

Em função dos processos de transporte e intemperismo, o óleo que chega à costa pode assumir diversas características, desde pelotas de piche (*tar balls*, em inglês) a óleos fragmentados e bastante intemperizados, bem como manchas de óleo contínuo e fluído, e até mesmo óleos pouco viscosos e pouco intemperizados. Também é possível que o óleo chegue à costa na forma de emulsões bastante viscosas ou na forma de plumas dispersas na coluna d'água, ou ainda como grãos de espessura fina e na forma de filmes iridescentes (*id.*, 2008). A forma como o óleo chega à costa é determinante na seleção dos equipamentos de resposta e no grau de impacto esperado.

Segue uma breve descrição dos processos de transporte e intemperismo.

O **espalhamento** e a movimentação horizontal do óleo em função da força gravitacional e a tensão superficial. Restrita pela viscosidade do óleo. Ventos e correntes também auxiliam o espalhamento (FINGAS, 2011). O espalhamento gera manchas de óleo com espessuras tão finas que não permitem a contenção, o recolhimento, a dispersão e a queima (LYSTAD & MARTINSON, 1981 *apud* FINGAS, 2004).

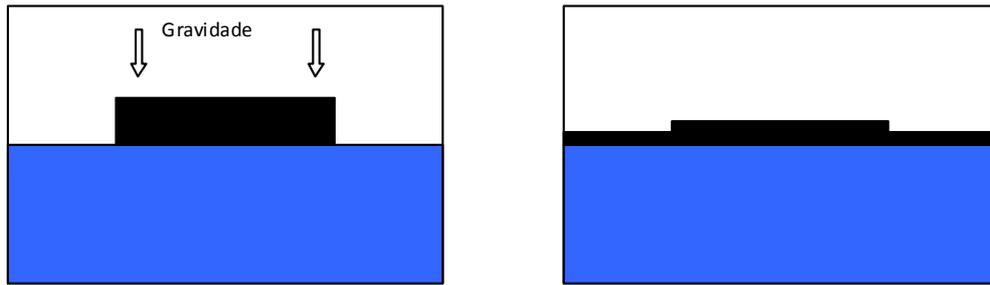


Figura 3-9 – Espalhamento do óleo.

O óleo se movimenta horizontalmente também em função dos ventos e correntes superficiais, a esta movimentação é dado o nome de **advecção** ou deriva. De maneira grosseira, estima-se que o óleo se move com 100% de influência da intensidade e direção da corrente superficial e 3% de influência da intensidade e direção do vento (OEBIUS, 1999; FINGAS, 2011). A figura 3-10 apresenta um esquema da composição vetorial da deriva do óleo causado por ventos e correntes superficiais.

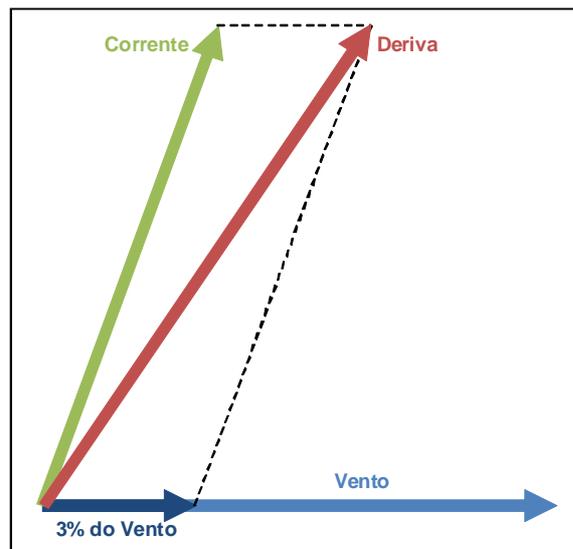


Figura 3-10 – Composição vetorial da advecção do óleo causada por ventos e correntes.

A **evaporação** é, normalmente, o processo dominante logo após um vazamento (FINGAS, 2011). A evaporação é dada pela volatilização de componentes do óleo. Os componentes de menor cadeia são mais voláteis. Gasolina e condensado de gás evaporam quase que completamente, enquanto óleo tipo Bunker C e óleos lubrificantes praticamente não sofrem evaporação (INTERNATIONAL TANKERS OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED - ITOFF, 2008; FINGAS, 2011). A intensidade da evaporação depende da temperatura da água, da intensidade dos ventos, bem como da área de espalhamento da mancha (SEBASTIÃO; SOARES, 1995 *apud* PIMENTEL, 2007).

Após sofrer evaporação, a densidade e a viscosidade dos óleos aumentam e o seu ponto de fulgor se reduz (FINGAS, 2011).

A **difusão** ou **dissolução** corresponde à movimentação de moléculas em função do gradiente de concentração. Moléculas aromáticas de pequeno peso são propensas a este processo. Normalmente apenas uma fração pequena do óleo é removida. Infelizmente estas frações tendem a apresentar toxicidade elevada para peixes e outros organismos aquáticos (*ibidem*).

A **evaporação** e a **difusão** são processos concorrentes, sendo que a evaporação é um processo mais rápido (INTERNATIONAL TANKERS OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2002).

A **dispersão** é a fragmentação de porções do óleo na coluna d'água devido à turbulência gerada por ondas e pela turbulência da água em sub-superfície. A dispersão facilita a biodegradação do óleo, uma vez que aumenta a superfície de contato disponível para a ação dos microorganismos. Óleos mais viscosos são menos suscetíveis a dispersão (*ibidem*).

A **sedimentação** ou **entranhamento** é o afundamento de porções do óleo na coluna d'água chegando ao leito do corpo d'água. Ocorre devido o aumento de densidade do óleo, causada pela evaporação das frações mais leves e adesão de partículas em suspensão. O destino dos óleos sedimentados não é totalmente conhecido. Fingas (2011) especula que pode ocorrer degradação de alguns compostos, emersão de finas camadas ou mesmo associação com partículas em suspensão levando o óleo para o leito do corpo d'água. Uma vez no fundo, o óleo passa a ser recoberto por sedimentos e a sua degradação torna-se mais lenta. O afundamento do óleo, além de reduzir a velocidade da degradação, dificulta muito as operações de limpeza, que passam a exigir dragas ou outros aparelhos de sucção (*ibidem*).

A **emulsificação** é a inclusão de pequenas gotas de água na estrutura do óleo, causando o aumento do volume e da viscosidade. A emulsificação ocorre pela agitação na área de contato entre o óleo e a água, forçando a inclusão de gotículas de água no óleo. Óleos viscosos, uma vez emulsificados, dificilmente perdem seu conteúdo de água. A perda de água pode ocorrer somente sob ação do aquecimento promovido pela radiação solar (ITOPF, 2008). Óleos ultra viscosos, dificilmente sofrem emulsificação. Óleos com grande conteúdo de asfaltenos e resinas são

propensos a emulsificação, desta forma, a evaporação pode levar ao aumento na possibilidade de formação de emulsões (FINGAS, 2011).

A emulsificação pode aumentar em até 10 vezes o volume da mancha de óleo, além de reduzir seu ponto de fluidez e aumentar sua viscosidade. Levando ao aumento do volume de resíduo recolhido e dificuldades no seu recolhimento. Por outro lado reduz o espalhamento do óleo. Também reduz a biodegradação do óleo (*ibidem*).

A **foto-oxidação** ocorre quando a radiação solar catalisa a reação do oxigênio atmosférico com o carbono dos hidrocarbonetos, formando novos produtos como resinas (*ibidem*). Não é um processo que remove os hidrocarbonetos com grande intensidade (ITOPF, 2011a).

Algumas bactérias, fungos e leveduras são capazes de consumir e metabolizar os hidrocarbonetos do petróleo, utilizando-os como fonte de energia, este processo é conhecido como **biodegradação**. Estes organismos são mais abundantes nos locais com contaminação crônica por óleo, tais como locais com exsudação natural de óleo (FINGAS, 2011). É considerado o principal processo de remoção de óleo do ambiente natural (STEELE *et al.*, 1985 *apud* PIMENTEL, 2007). O óleo degradado desta forma gera compostos oxidados. Existem registros de compostos resultantes da degradação com toxicidade maior do que a do óleo que os geraram (FINGAS, 2011).

A intensidade da biodegradação depende dos compostos existentes no óleo e na temperatura. Cada composto é degradado por organismos específicos e a biodegradação tende a ser incrementada com o aumento da temperatura. A quantidade de oxigênio e nutrientes disponíveis também influencia a taxa de biodegradação (*ibidem*).

A biodegradação pode levar semanas, para óleos leves ou anos, para óleos pesados (*ibidem*). As características dos óleos, a disponibilidade de oxigênio e nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo) e a temperatura da água afetam a intensidade da biodegradação (ITOPF, 2011a).

O conhecimento do comportamento do óleo vazado é fundamental para o desenvolvimento de modelos computacionais que representem vazamentos de óleo (FINGAS, 2011).

Os resultados da modelagem computacional dependem da qualidade e representatividade das variáveis e da qualidade dos algoritmos que representam o comportamento do óleo.

Dentre as variáveis que mais afetam os resultados da modelagem, Ferreira (2006) cita:

- A caracterização físico-química do óleo;
- As condições de vento (intensidade e direção);
- As condições de mar (intensidade e direção de correntes);
- A batimetria; e
- Os limites de costa.

As **características do óleo** são similares às apresentadas no item 3.1 deste trabalho.

As **condições de vento e de mar** podem ser as medidas no local, quando disponíveis, ou ainda, utilizar dados obtidos por modelos computacionais que representem estas condições. Cuidados especiais devem ser tomados quando se utilizam estas informações, uma vez que a resolução espacial e temporal dos modelos hidrodinâmicos e de ventos costumam ser grosseiros levando a extrapolação de condições para grandes áreas (resolução espacial baixa) e para longos períodos (resolução temporal baixa) (FINGAS, 2011). Estes modelos hidrodinâmicos também apresentam limitações na representação da realidade, sendo que alguns modelos representam melhor as condições costeiras, outros representam melhor a realidade em elevadas batimetrias, outros são melhores em períodos de inverno, e etc. A figura 3-11 apresenta a trajetória de deriva de óleo prevista considerando cinco tipos de modelos hidrodinâmicos. Fingas (2011) sugere que os resultados dos modelos jamais sejam como uma trajetória fechada, e sim como uma área de incerteza e tendência.

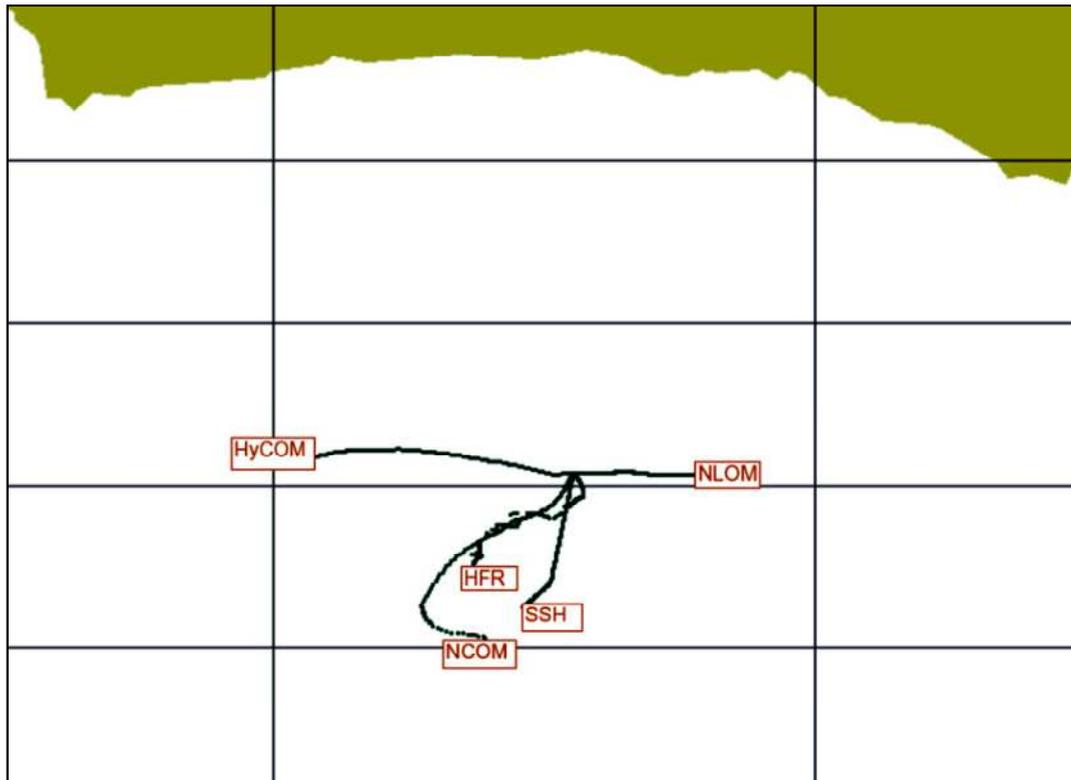


Figura 3-11 – Resultados de deriva de um mesmo vazamento utilizando modelos hidrodinâmicos diferentes. Cada modelo hidrodinâmico apresenta pontos fortes e fragilidades dependendo da situação. Todos os modelos devem ser utilizados de forma a gerar uma área de incerteza (Fonte: FINGAS, 2011).

A **batimetria** e os **limites da costa** são obtidos por dados originados em cartas náuticas, mapas ou medições em campo. É interessante que o modelo computacional tenha essas variáveis bem representadas, de forma que o toque na costa seja apresentado de forma realista.

Fingas (2011) ressalta que os resultados dos modelos, mesmo utilizando variáveis bem caracterizadas, podem gerar resultados irreais, citando como exemplo o caso do vazamento do navio tanque Puerto Rican, em 1984, no golfo de Farallones, na Califórnia. Neste evento foi feita uma modelagem que indicava a chegada do óleo em uma área pouco sensível, para onde foram deslocados os recursos de resposta, porém ocorreu uma drástica alteração nas condições meteo-oceanográficas não previstas pelo modelo, causando uma reversão da direção da deriva e contaminando áreas sensíveis desprotegidas. Desta forma, o autor sugere que a incerteza das previsões seja sempre levada em consideração pelos tomadores de decisão.

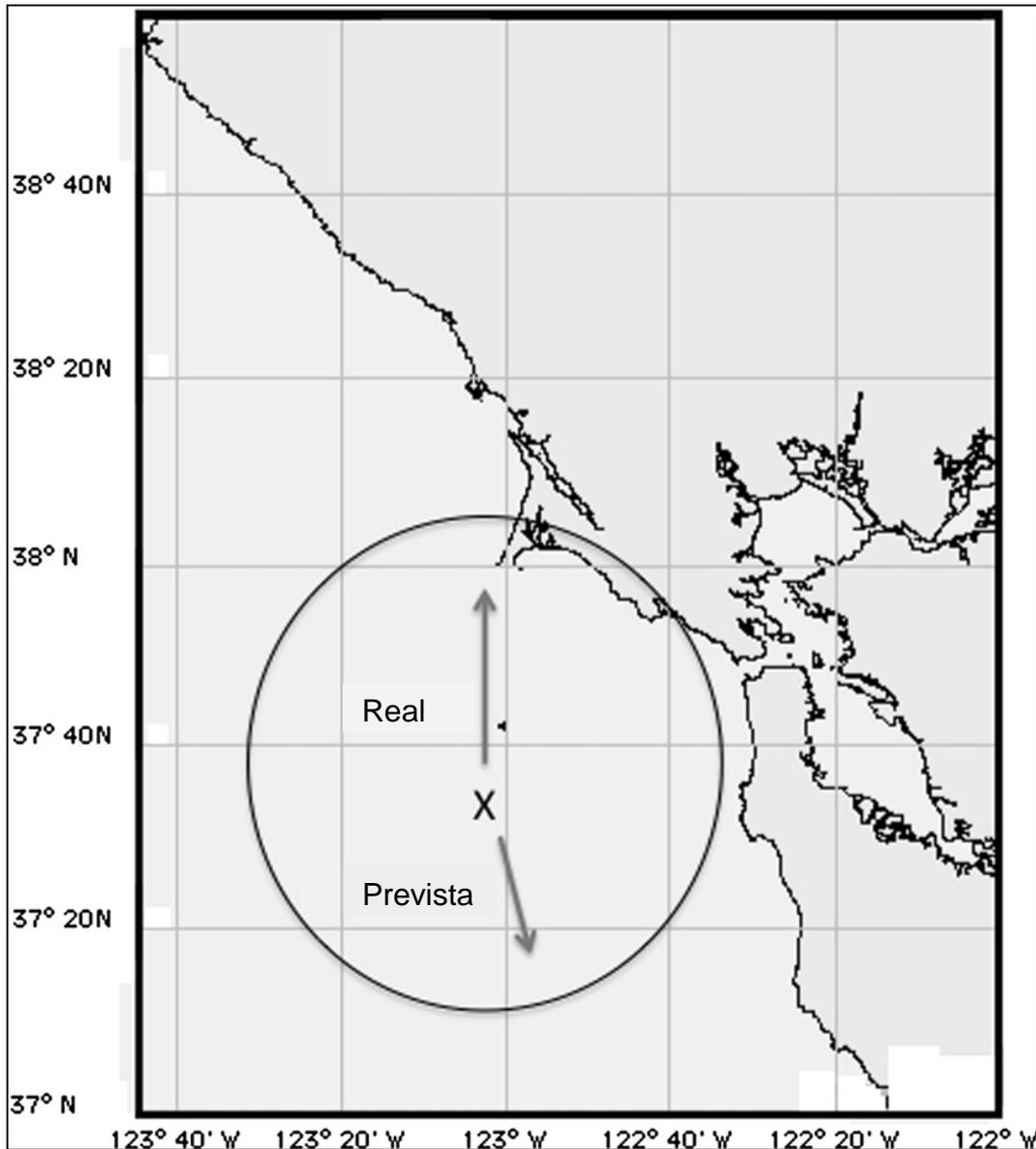


Figura 3-12 – Sentidos de deriva do óleo real e prevista no acidente do T/V Puerto Rican. O círculo representa a área de incerteza. As ferramentas de previsão de deriva devem ser utilizadas com cautela (Fonte: FINGAS, 2011).

Além da previsão da trajetória, os modelos podem estimar a intensidade da evaporação, a probabilidade de emulsificação, a quantidade de óleo dissolvido e a quantidade de óleo que chega a terra (FINGAS, 2011).

Segundo Fingas (2011) os modelos podem ser aplicados de duas formas:

- Modo determinístico; e
- Modo estocástico ou probabilístico.

O modo **determinístico** utiliza um único cenário para estimar a direção e o comportamento do óleo naquele cenário. Por considerar um único evento, tem pouca serventia para fins de planejamento prévio.

Já o modo **probabilístico** considera uma série representativa de cenários possíveis e apresenta como resultado as probabilidades do óleo gerar uma consequência, tal como a chegada do óleo na costa ou em um ambiente sensível (FINGAS, 2011). Como as variáveis que representam as condições de mar e de vento não são estáticas é necessário realizar uma ampla variedade de simulações considerando diferentes condições factíveis ao longo de um período representativo de tempo. Estas simulações devem considerar as diferentes descargas de óleo identificadas na análise de risco do empreendimento (Sørgård *et al.*, 1997).

A modelagem probabilística é a mais indicada para fins de preparação e dimensionamento de recursos de resposta, enquanto a modelagem determinística é mais indicada para tomada de decisão uma vez que o vazamento se efetiva.

Os parâmetros resultantes em uma simulação probabilística podem ser, segundo Sørgård *et al.* (1997):

- Probabilidade de poluição – Indicando a possibilidade de o óleo atingir aquele ponto;
- Quantidade média de óleo (massa) – Indicando a média de massa existente naquele ponto ao longo do tempo. Utilizado somente em pontos localizados na água;
- Tempo estimado de chegada do óleo – Indicando o tempo máximo e mínimo de chegada do óleo naquele ponto; e
- Massa de óleo acumulada – Indicando o total de óleo que chega naquele local. Este parâmetro é medido somente em pontos localizados na linha de costa.

Outro parâmetro resultante que pode ser utilizado para dimensionar os tipos e quantidades de equipamentos de resposta, porém nem sempre disponível, é a faixa de estados de intemperização dos óleos que chegam a costa.

Em resumo, os resultados da análise de risco que indicam vazamento de óleo para os corpos hídricos devem ser utilizados como dados de entrada para alimentar modelos probabilísticos representativos dos diversos períodos sazonais, normalmente verão e inverno, do ambiente em que o empreendimento se localiza. Os resultados do modelo probabilístico indicarão a probabilidade, o tempo mínimo e máximo de chegada, o volume acumulado e eventualmente, o estado de

intemperização do óleo que chega ao estuário alvo do estudo. Todas estas informações servirão como subsídio para a avaliação do impacto, definição das estratégias de resposta e dimensionamento dos equipamentos necessários.

3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS ESTUÁRIOS

O conhecimento das características físicas, químicas, dos ecossistemas e das atividades sócio-econômicas desenvolvidas nos locais sujeitos a contaminação por óleo é fundamental para a seleção das técnicas de resposta aplicáveis bem como no dimensionamento dos recursos necessários.

Segue agora uma descrição das características dos estuários que influenciam no dimensionamento de recursos de resposta.

Devido a sua elevada importância ambiental, a intensa utilização antrópica e baixa resiliência aos impactos gerados pelo óleo, os estuários são considerados locais de elevada sensibilidade, sendo a sua proteção e limpeza prioritária em vazamentos de óleo (BRASIL, 2002 & USA, 2002).

Segundo Pritchard (1967), estuários são caracterizados por:

- Serem massas d'água costeiras semi-fechadas;
- Possuírem ligação livre com o oceano, com ocorrência de diluição mensurável da água marinha na água doce, com existência de gradação de densidade;
- Estarem sujeitos a ação de maré, com oscilação da massa de água e dos valores de salinidade.

Fairbridge (1980) *apud* Duarte & Vieira (1997) definem o estuário como a entrada de um braço de mar em uma bacia hidrográfica, indo do limite superior da preamar até o ponto no rio em que é possível perceber a ação da maré. Este autor divide o estuário em três trechos:

- Zona baixa ou marinha – com ligação direta com o mar;
- Zona média – com mistura da água doce com a água marinha; e
- Zona alta ou fluvial – com água doce, porém sujeita a ação diária da maré.

Pritchard (1967) classifica os estuários em quatro tipos distintos em função da sua formação:

- Estuários em planícies costeiras – Formados pelo avanço natural dos rios em direção ao mar. Possuem calha em formato de “V”, são compridos e estreitos. É o tipo mais comum de estuário;
- Fiordes com rios – Formados pelo recuo de glaciares. Possuem calha em formato de “U”, de maneira geral são profundos, estreitos e fortemente estratificados;
- Estuários formados por barras – Formados pelo fechamento natural de baías por restingas em eventos de recuo do mar. A ação das marés tende a ser reduzida nestes estuários; e
- Estuários formados por tectonismo – Normalmente formam grandes baías.

A figura 3-13 apresenta a desembocadura da Lagoa dos Patos, no Rio Grande do Sul como um exemplo de estuário formado por barras. E a figura 3-14 apresenta o estuário do rio Acaraú, no Ceará, um exemplo de estuário em planície costeira.

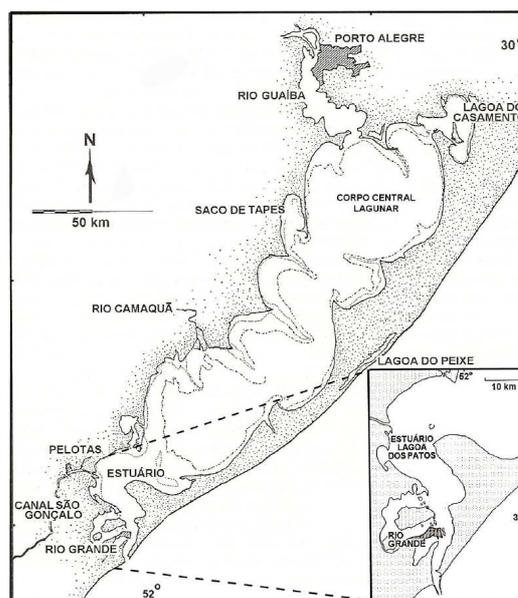


Figura 3-13 – Lagoa dos Patos, RS. Um exemplo de estuário formado por barra (Fonte: SCHWOCHOW & ZANBONI, 2007).

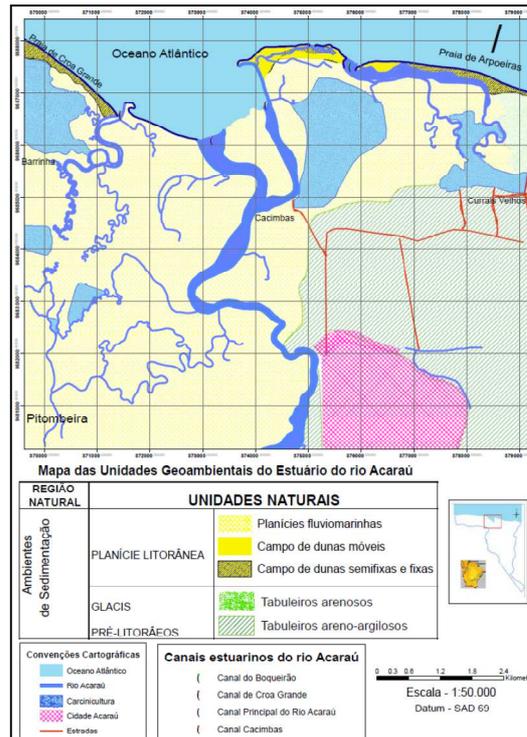


Figura 3-14 – Unidades geoambientais do estuário do rio Acaraú. Exemplo de estuário em planície costeira (Fonte: ARAÚJO & FREIRE 2007).

Os estuários também podem ser classificados em função do processo físico de mistura e transporte dominante: vento, maré ou descarga fluvial (PRITCHARD, 1967)

Outra característica importante dos estuários é a interface entre a água marinha com a água fluvial. Devido à diferença de densidade entre estas águas, causada pela salinidade e temperatura, a mistura não ocorre de forma imediata, causando uma estratificação vertical na coluna d'água, com a água salgada e mais densa ocupando as camadas inferiores. A este fenômeno é dado o nome de cunha salina. A cunha salina pode ser mais ou menos intensa conforme a vazão de descarga dos rios, a intensidade e direção dos ventos e a altura de maré (PRITCHARD, 1967).

A intensidade da mistura de águas depende da turbulência, que por sua vez é fortemente influenciada pela batimetria e pela rugosidade do fundo do estuário. A resistência ao escoamento da água gerada pelo fundo gera movimentos rotacionais que promovem a mistura (DUARTE & VIEIRA, 1997).

As águas fluviais podem trazer grande quantidade de material particulado em suspensão e detritos, principalmente em eventos de alta descarga. Estes materiais

podem se aderir ao óleo, aumentando a sua densidade e causando a sedimentação do óleo no leito dos estuários (KENNISH, 1997 *apud* DEMORE, 2001).

Os estuários costumam ser ambientes com elevada produtividade biológica em função da retenção de nutrientes gerada pelo padrão de circulação das águas. Além disso, estes ecossistemas possuem três tipos de componentes autótrofos: macrófitas, algas bentônicas e fitoplanctôn. Esta riqueza de fontes de material orgânico e a proteção oferecida permitem o uso destes ambientes como criadouros, locais para forrageio e locais de reprodução para espécies de moluscos, crustáceos, peixes e aves, tanto locais, quanto fluviais e marinhos (ODUM, 1986 *apud* SCHWOCHOW & ZANBONI, 2007).

Muitos dos componentes do óleo e seus derivados apresentam toxicidade e fatores carcinogênicos em diferentes intensidades para algumas espécies. Além disso, o recobrimento de organismos e superfícies pelo óleo causa impactos dos mais variados. E a persistência do óleo nos ambientes potencializa o prolongamento dos impactos por tempos dilatados (CHEREMISINOFF & DAVLETSHIN, 2011).

Apesar dos impactos de um vazamento de óleo ser bastante documentados, nem todos os efeitos da poluição por óleo são plenamente conhecidos. Os ecossistemas aquáticos e costeiros são complexos e sujeitos a grande variação natural de sua composição, abundância e distribuição de espécies, o que torna extremamente difícil diferenciar a extensão do impacto causado pelo petróleo da própria variação natural (INTERNATIONAL TANKERS OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2011).

Segundo o método de classificação de ambientes sensíveis desenvolvido pelo governo americano e adaptado pelo governo brasileiro, os ambientes existentes comumente em estuários são de elevada sensibilidade, pois apresentam normalmente áreas abrigadas da ação das ondas, baixas declividades e vegetação sensível (NATIONAL OCEAN AND ATMOSPHERE ADMINISTRATION – NOAA, 2002; BRASIL, 2002).

Por serem ambientes abrigados, a ação das ondas não é um processo atuante na remoção natural do óleo. As baixas declividades possibilitam a contaminação de grandes áreas em função da variação da maré. A permeabilidade dos sedimentos é extremamente variável, indo de sedimentos impermeáveis, porém com elevada presença de tocas escavadas no caso de manguezais, a praias mistas

em bancos de rios, passando por enroncamentos e estruturas artificiais, todos com permeabilidade média a alta ao óleo. Da mesma forma, os sedimentos existentes em planícies de maré e manguezais dificultam ou mesmo inviabilizam o acesso das equipes e equipamentos de resposta, uma vez que o pisoteio pode promover o enterramento do óleo no sedimento, aumentando ainda mais a sensibilidade destes ambientes (NATIONAL OCEAN AND ATMOSPHERE ADMINISTRATION – NOAA, 2002; BRASIL, 2002).

O petróleo e seus derivados apresentam duas formas de atuação deletéria nos organismos: o recobrimento físico e a toxicidade dos seus componentes.

De forma geral, a toxicidade dos óleos está associada aos seus componentes mais leves. O recobrimento está associado aos seus componentes mais pesados e persistentes (INTERNATIONAL TANKERS OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2011).

Os organismos são afetados de forma diferenciada pelo óleo, dependendo do seu comportamento, da sua exposição e da sua sensibilidade aos componentes tóxicos do óleo (INTERNATIONAL PETROLEUM IINDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION – IPIECA, 2004). Os efeitos tóxicos do óleo não levam necessariamente a mortalidade, porém podem causar temporariamente narcose, queimaduras, irritação de pele, olhos e mucosas, problemas gastrointestinais, deficiências imunológicas, dano nos rins e fígado, danos e distúrbios respiratórios e neurológicos (INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION – IPIECA, 2004; INTERNATIONAL TANKERS OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2011).

3.3.1. Impactos na biota

Segue uma descrição geral dos efeitos do petróleo e seus derivados em segmentos específicos da biota, em ecossistemas e atividades sócio-econômicas encontrados nos estuários.

Impactos na biota nectônica

Os animais nectônicos são organismos aquáticos capazes de se deslocar contra as correntes, tais como peixes, tartarugas, peixes-boi e baleias (LEÃO, 2004).

Os efeitos deletérios potencialmente causados pelo óleo em peixes são (CHEREMISINOFF & DAVLETSHIN, 2011):

- Redução no forrageio;
- Debilitação da capacidade natatória;
- Corrosão de nadadeiras;
- Ulceração da pele;
- Lesões no fígado;
- Lesões no tecido olfativo;
- Dificuldades na eclosão de ovos;
- Alteração na flutuabilidade dos ovos;
- Deformações nas larvas e juvenis afetados;
- Inibição da divisão celular;
- Dano no material genético; e
- Incremento na mortalidade.

Os peixes, de maneira geral, metabolizam rapidamente os hidrocarbonetos aromáticos e são afetados de forma diferenciada pelo óleo dependendo da sua espécie e sua fase de vida. Alguns peixes, tais como o salmão rosa, são afetados pelos efeitos tóxicos do óleo durante a sua fase adulta e juvenil. Entretanto, outras espécies, tais como o salmão branco, possuem ovos tolerantes aos componentes solúveis do óleo (CHEREMISINOFF & DAVLETSHIN, 2011).

Mamíferos aquáticos que reproduzem na costa, tais como lontras e focas são bastante sensíveis ao óleo. O recobrimento dos pêlos com óleo reduz as capacidades homeotérmicas destes animais, que pode sofrer de hipotermia ou sobreaquecimento, dependendo da espécie e da época do ano (INTERNATIONAL TANKERS OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2011). Além disso, o óleo pode debilitar suas capacidades natatórias, facilitando a sua predação, dificultando o seu forrageio ou ainda permitindo o afogamento (INTERNATIONAL

PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENT CONSERVATION ASSOCIATION – IPIECA, 2004).

Em lontras contaminadas com óleo foram observadas alterações comportamentais tais como letargia e docilidade incomum. Necropsias realizadas em alguns destes animais revelaram danos no tecido cerebral (INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENT CONSERVATION ASSOCIATION – IPIECA, 2004). Cheremisinoff & Davletshin (2011) reportam que a população de lontras e orcas atingidas pelo vazamento do Exxon Valdez no Alasca ainda não recuperaram seu número original. Os mesmos autores reportam que foi observado o incremento no nascimento de leões marinhos prematuros após a ocorrência de vazamento de óleo.

Tartarugas e outros répteis, diferentemente dos mamíferos, parecem não evitar o contato com o óleo e costumam engolir pelotas de óleo. Os efeitos deletérios são similares aos que ocorrem com mamíferos, exceto com relação à perda do equilíbrio térmico, uma vez que estes animais são peclotérmicos. Um dos impactos mais significativos do óleo nestes animais é o recobrimento de áreas costeiras utilizadas para nidificação (INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENT CONSERVATION ASSOCIATION – IPIECA, 2004).

Impactos na biota bentônica

O bentos é formado por organismos aquáticos dependentes do substrato, tais como caranguejos, mexilhões, corais, estrelas do mar e alguns tipos de peixes (LEÃO, 2004).

O impacto na comunidade bentônica submersa se efetiva somente quando ocorre a sedimentação do óleo (MONTEIRO, 2003). Na biota bentônica os maiores impactos residem na toxicidade e bem como na alteração da granulometria do sedimento, no enterramento de organismos e na depleção do oxigênio. As características físico-químicas do óleo derramado são determinantes na intensidade destes impactos (MOLTU & PINTURIER, 2008). A alteração da granulometria dos sedimentos é mais impactante na infauna, representada por organismos que vivem abaixo do substrato, tais como alguns tipos de crustáceos e anelídeos.

A epifauna, ou seja, organismos que vivem sobre o substrato, representada por bivalves tais como mexilhões e ostras, quando na fase adulta possuem elevada

resistência ao óleo devido à proteção das suas conchas. Porém tendem a acumular os componentes tóxicos absorvidos devido a sua carência de enzimas apropriadas para degradação destes componentes (CHEREMISINOFF & DAVLETSHIN, 2011).

Óleos leves e tóxicos quando submetidos à ação das ondas em águas rasas tende a se dissolver e biodisponibilizar seus componentes tóxicos a organismos filtradores, tais como mexilhões (INTERNATIONAL TANKERS OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2011).

Cheremisinoff & Davletshin (2011) relatam que o vazamento ocorrido na plataforma IXTOX I gerou a morte de centenas de milhões de caranguejos e cerca de 80% dos anelídeos e camarões em praias texanas.

Os impactos em peixes bentônicos como solhas e linguados, são similares aos apresentados nos peixes nectônicos.

Impactos na biota planctônica

O plâncton é formado por organismos aquáticos sem capacidade de se deslocar contra as correntes. Microalgas, bactérias, protozoários, larvas de crustáceos e de peixes são componentes típicos do plâncton. O fitoplâncton costuma formar a base da cadeia trófica de ecossistemas, servindo como fonte de lipídios, proteínas, carboidratos e vitaminas para os organismos do restante da cadeia (LEÃO, 2004), desta forma a contaminação do fitoplâncton propicia a contaminação do restante da cadeia (MONTEIRO, 2003).

Segundo a *International Tankers Owners Pollution Federation Limited* – ITOPF (2011) e Cheremisinoff & Davletshin (2011), o óleo tem efeitos tóxicos letais para os indivíduos de espécies planctônicas, entretanto, os efeitos de longo prazo são reduzidos em função das altas taxas de recuperação. Cheremisinoff & Davletshin (2011) lembram que esta facilidade de recuperação da população de plâncton depende do tamanho do corpo d'água afetado, sendo muito menor em corpos d'água pequenos como lagoas.

A elevada mortalidade de larvas pode comprometer o estoque de peixes adultos em longo prazo (MONTEIRO, 2003).

Impactos na avifauna

Um dos elementos mais icônicos dos impactos dos vazamentos de óleo são as fotos de aves recobertas pelo óleo, comuns a quase todos os incidentes

divulgados na mídia. As aves marinhas estão entre os componentes ambientais mais sensíveis aos impactos de um vazamento de óleo. Aves que mergulham para obter alimento tendem a sofrer com o recobrimento das suas penas por óleo. Durante o processo de limpeza e alisamento das penas utilizando os bicos, acabam ingerindo óleo. Esta ingestão acidental de óleo inibe o apetite das aves, causando óbitos por inanição (ITOPF, 2011). Cheremisinoff e Davletshin (2011) acrescentam como resultados da ingestão de óleo a anemia, pneumonia, lesões no fígado e nos rins, alteração da química do sangue e redução na produção de ovos.

As penas recobertas por óleo perdem sua capacidade de repulsão da água, permitindo o contato da água com a pele das aves, reduzindo a temperatura corporal e levando a um estado de hipotermia (INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENT CONSERVATION ASSOCIATION – IPIECA, 2004; CHEREMISINOFF & DAVLETSHIN, 2011).

Pelo mesmo motivo, as aves recobertas por óleo apresentam dificuldade na flutuação sobre a água, podendo gerar episódios de afogamento (CHEREMISINOFF & DAVLETSHIN, 2011).

Os mesmos autores citam como efeitos deletérios da contaminação por óleo nas aves a alteração no comportamento reprodutivo, tais como o abandono de ninhos e troca de parceiros de acasalamento.

A inalação de compostos voláteis tóxicos podem causar pneumonia e ataxia, ou perda de controle motor e equilíbrio (INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENT CONSERVATION ASSOCIATION – IPIECA, 2004).

Como as operações de limpeza e recuperação de aves têm baixa taxa de sucesso, a proteção de colônias de aves e locais de nidificação deve ser uma das prioridades numa operação de resposta (INTERNATIONAL TANKERS OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2011).

Algumas espécies respondem aos impactos originados de um vazamento de óleo aumentando a produção de ovos, aumentando a frequência de reprodução ou diminuindo a idade para o recrutamento dos espécimes jovens no grupo adulto e reprodutor (*ibidem*).

Mesmo com estas respostas naturais, a recuperação do grupo pode levar anos, desta forma, as aves como um todo, devem ser consideradas um ente sócio-ambiental de baixa resiliência.

Impactos nos seres humanos

Os efeitos do óleo nos seres humanos precisam ser citados neste trabalho pelo seu potencial impacto nos responsáveis pela condução das operações de resposta e pela população exposta.

Os compostos voláteis do óleo recém vazado são tóxicos e carcinogênicos quando inalados. A queima do óleo gera mais compostos voláteis tóxicos. Os efeitos crônicos do podem ser (CHEREMISINOFF & DAVLETSHIN, 2011):

- Comprometimento do sistema imunológico;
- Comprometimento do sistema reprodutivo;
- Redução do crescimento;
- Efeitos teratogênicos; e
- Efeitos carcinogênicos.

Os efeitos agudos do óleo podem ser (INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENT CONSERVATION ASSOCIATION – IPIECA, 2000):

- Dermatites – pelo contato com a pele;
- Tontura – por inalação ou contato com mucosas;
- Diarréia – por ingestão acidental;
- Desmaios – por inalação;
- Sufocamento – por exclusão de oxigênio

Felizmente, as operações de resposta são normalmente conduzidas em espaços abertos, desta forma, vapores e gases emanados pelo óleo oferecem pouco perigo. Entretanto, atendimentos próximos a fonte de vazamento devem prever a medição de hidrocarbonetos aromáticos, gases de enxofre e gases inflamáveis, bem como de equipamentos de proteção respiratória, dependendo da

composição do óleo (INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENT CONSERVATION ASSOCIATION – IPIECA, 2002).

Outro perigo potencial é a contaminação por contato com a pele e mucosas. Este perigo pode ser facilmente evitado com o uso de roupas de proteção simples (*ibidem*).

Além destes riscos, o óleo pode apresentar inflamabilidade e tornar superfícies escorregadias. Felizmente, o período em que o óleo permanece inflamável é bastante curto, uma vez que a volatilização dos compostos inflamáveis é rápida (*ibidem*).

É importante, durante o início de uma operação de resposta, o responsável pelas operações, ou alguém designado por ele, identificar todos os riscos envolvidos e definir quais medidas de proteção adotar, tais como isolamento de áreas, equipamentos de proteção individual (EPI), monitoramento de gases e *briefing* de operações e de segurança (iniciais, diários e na troca de turno). Também é necessário designar pessoal especializado para acompanhar as condições de segurança durante as operações de resposta. É importante também preparar uma estrutura de primeiros cuidados nas proximidades do local de atendimento e um plano logístico para atendimento médico e hospitalar (*ibidem*).

Todos os riscos associados ao óleo dependem dos componentes químicos presentes no óleo. Vale lembrar que esses componentes se alteram conforme o intemperismo atua sobre o óleo (*ibidem*).

3.3.2. Impactos nos ecossistemas

Impactos nas praias arenosas

As praias arenosas possuem sensibilidade variável ao óleo. Praias formadas por areias de granulometria maior tendem a oferecer maior permeabilidade ao óleo, que entranhado nos sedimentos, adquire maior persistência no ambiente e aumentam a dificuldade nas operações de limpeza. As operações de limpeza nestas condições demandam a remoção temporária ou permanente de grandes camadas de sedimento (NATIONAL OCEAN AND ATMOSPHERE ADMINISTRATION – NOAA, 2002).

Por outro lado, praias de areia fina e de baixa permeabilidade ao óleo, são facilmente limpas pela ação das ondas e marés. As operações de remoção

mecânica do óleo também são facilitadas e causam poucos impactos ao ecossistema (PURNELL, 1999; NATIONAL OCEAN AND ATMOSPHERE ADMINISTRATION – NOAA, 2002).

A exceção se dá em praias onde ocorre um evento deposicional de sedimento muito forte após a contaminação por óleo (i.e.: contaminação por óleo seguida por um período de reconstrução da faixa de areia). Neste caso, o óleo tende a ficar soterrado, demandando ações de limpeza semelhantes às executadas em praias com elevada permeabilidade (FINGAS, 2011).

A presença de tocas escavadas pela fauna também é um fator que privilegia a penetração de óleo no sedimento.

A recuperação destes ambientes tende a ser rápida (INTERNATIONAL TANKERS OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2011) e exemplos de recuperação podem ser encontrados no Kuwait, onde as praias arenosas apresentam quase completa recuperação, mesmo após terem sofrido o pior vazamento da história durante a Guerra do Golfo (CHEREMISINOFF & DAVLETSHIN, 2011).

Impactos em planícies de maré, manguezais, marismas e apicuns e outros ambientes formados por sedimentos finos

Planícies de maré, manguezais, marismas e apicuns são lugares abrigados da ação de ondas, sendo normalmente formados por sedimentos finos como argila e areia fina. Estes ambientes tendem a possuir elevada produtividade biológica. É comum a ocorrência de aves migratórias, organismos escavadores e mexilhões. Além disso, estes ambientes servem como criadouros para espécies marítimas de peixes (INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENT CONSERVATION ASSOCIATION – IPIECA, 2000a; INTERNATIONAL TANKERS OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2011).

As planícies de maré são ecossistemas caracterizados por depósitos de sedimento formados na desembocadura de rios, sujeitos a ação da correnteza dos rios ou da ação da maré. São ecossistemas com forte presença de algas, invertebrados, peixes e aves (PETERSON & MICHEL, 2011).

Os manguezais são formações vegetais características de zonas intertidais em regiões tropicais e subtropicais, compostas por plantas adaptadas a variação de

salinidade e substratos normalmente lodosos e alagados com baixo teor de oxigênio. A esta vegetação está associada toda uma fauna característica, também adaptada a variação de salinidade, oscilação de maré e baixo teor de oxigênio. No Brasil os manguezais são encontrados desde a fronteira com a Guiana Francesa, no norte, até a Praia do Sonho, em Santa Catarina, no sul (CORTEZ, 2010).

Marismas são caracterizados também por estarem associados a zonas intertidais e com variação de salinidade, porém, ao contrário dos manguezais, são dominados por vegetação herbácea. Ocorrem em regiões temperadas e subtropicais, nestas, associadas aos manguezais (SCHAEFFER-NOVELLI, [2003]; OLIVEIRA, FERREIRA & ASMUS, 2009). Nas Américas, os marismas ocorrem da latitude 32°N aos 52°S (COSTA & DAVY, 1992 *apud* SCHAEFFER-NOVELLI, [2003]).

Apicuns são ambientes com sedimento arenoso formados na porção interna dos manguezais e marismas, na interface entre o médio e o supra litoral, com vegetação arbustiva ou ausente (SCHAEFFER-NOVELLI, [2003]). O apicum atua como um reservatório de nutrientes para os manguezais e marismas (NASCIMENTO, 1993 *apud* SCHAEFFER-NOVELLI, [2003]).

Nos mangues e marismas o óleo tende a se impregnar ao sedimento superficial e penetrar nos túneis formados pelos organismos escavadores e pelos troncos de árvores. O óleo impregnado neste tipo de sedimento é de difícil degradação, em função das condições anóxicas destes locais, mantendo a contaminação por longos períodos (INTERNATIONAL TANKERS OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOF, 2011). Ademais, nos estuários, a proteção oferecida contra a ação das ondas aumenta a persistência destes contaminantes (INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENT CONSERVATION ASSOCIATION – IPIECA, 2000a; QUEIROZ *et al.*, 2007)

Devido às condições anóxicas do substrato em manguezais, existem árvores que possuem raízes aéreas com capacidade de respiração. O recobrimento destas raízes pelo óleo é letal para estas espécies. A regeneração destes ambientes costuma levar décadas para ocorrer (INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENT CONSERVATION ASSOCIATION – IPIECA, 2000b; INTERNATIONAL TANKERS OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOF, 2011).

A morte da vegetação das margens dos rios, também chamada de mata ciliar, é um fator de desestabilização das margens, promovendo um potencial assoreamento da calha dos rios (ARAÚJO & FREIRE, 2007).

Durante as operações de resposta em manguezais e marismas é importante evitar o pisoteio das raízes aéreas, das plântulas e da vegetação herbácea em função da sua sensibilidade. Além disso, o pisoteio do óleo sobre o substrato do manguezal potencializa o enterramento do óleo e, por conseguinte, o aumento na dificuldade da degradação do óleo (CAIRNS JUNIOR & BULKEMA JUNIOR, 1984; CANTAGALLO, MILANELLI & DIAS-BRITO, 2007). Existem relatos de manguezais recuperados após cinco anos quando não afetados por operações de resposta (SELL *et al.*, 1995 *apud* KERAMBRUN & PARKER, 1998).

3.3.3. Impactos nas atividades humanas

Os estuários servem como locação para inúmeras atividades humanas importantes. São locais com abundância de recursos pesqueiros, abrigados da ação do mar e próprios para instalação de portos. O crescimento de cidades litorâneas está profundamente associado aos estuários. Atividades turísticas e de lazer e extrativismos também são atividades desenvolvidas nos estuários.

Todas estas atividades são sensíveis a um evento agudo de contaminação por óleo. Segue uma breve descrição dos potenciais impactos causados nestas atividades pelo vazamento de óleo.

Impactos na pesca e na aquicultura

Os estuários são locais reconhecidos como criadouros e zona de reprodução de peixes e crustáceos. Como o petróleo e seus derivados são extremamente tóxicos justamente nas fases larvais destes organismos, os impactos de um vazamento na atividade pesqueira quando estuários são atingidos podem ser elevados.

O óleo pode danificar embarcações e aparelhos flutuantes de pesca e aquicultura, tais como cercos, redes e linhas de criação. Materiais submersos são menos suscetíveis ao recobrimento, porém podem sofrer os impactos de óleo submerso ou disperso (INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENT CONSERVATION ASSOCIATION – IPIECA, 2000a;

INTERNATIONAL TANKERS OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2011).

Episódios de mortalidade de estoques de peixes em função de vazamentos de óleo são raros (INTERNATIONAL TANKERS OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2011).

A contaminação por óleo leva a uma significativa perda econômica desta atividade, uma vez que os consumidores perdem a confiança no consumo da produção, só recuperada após um efetivo programa de limpeza e de resgate de imagem junto ao público (INTERNATIONAL TANKERS OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2011). Existem relatos de que os peixes e mariscos atingidos por vazamentos apresentam cheiro e sabor alterados. Os consumidores, mesmo sem a efetiva contaminação, tendem a encontrar preços dos pescados mais elevados devido à escassez do produto nos mercados (INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENT CONSERVATION ASSOCIATION – IPIECA, 2000a; CHEREMISINOFF & DAVLETSHIN, 2011).

Impactos na atividade portuária

Grande parte dos portos desenvolveram-se em áreas estuarinas devido à proteção oferecida por estes ambientes, pelo acesso ao mar, pela facilidade em obter água doce e pela possibilidade de utilizar os estuários como corpo receptor de efluentes (DUARTE & VIEIRA, 1997).

A contaminação e as operações de limpeza em si podem levar a interrupção temporária destas atividades ou a restrição da atividade, gerando perdas econômicas momentâneas (INTERNATIONAL TANKERS OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2011).

A atividade portuária, por sua natureza, é responsável pela liberação acidental rotineira de pequenos volumes de óleo (INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION – IMO, 2006). Esta liberação pode promover o desenvolvimento e a manutenção de microorganismos adaptados ao consumo do óleo, o que em um acidente de maior monta, facilita a recuperação natural do ambiente (CHEREMISINOFF & DAVLETSHIN, 2011).

Impactos no turismo e no lazer

Marinas e balneários turísticos contaminados por óleo tornam-se indisponíveis temporariamente para uso. As operações de resposta em estuários podem bloquear ou dificultar a passagem de embarcações de lazer pelos estuários, principalmente quando são utilizadas barreiras de contenção. A reputação de locais turísticos contaminados pode ser danificada, causando redução na procura destes locais mesmo após a sua descontaminação (INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENT CONSERVATION ASSOCIATION – IPIECA, 2000a).

Impactos na indústria

Algumas indústrias captam água de estuários para resfriamento. Outras consomem água após o processo de dessalinização. A contaminação por óleo pode ameaçar estes usos da água (INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENT CONSERVATION ASSOCIATION – IPECA, 2000b).

3.3.4. Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo

Uma das melhores maneiras de identificar componentes de valor sócio-ambiental sensíveis ao óleo é utilizando as cartas de sensibilidade ambiental ao óleo, Cartas SAO (INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENT CONSERVATION ASSOCIATION – IPIECA, 2000a). Este será o método utilizado para identificar componentes de valor sócio-ambiental neste trabalho.

No Brasil, a responsabilidade pela elaboração das cartas SAO é do governo brasileiro, que através dos seus órgãos ou de editais, como o publicado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e o Ministério do Meio Ambiente – MMA em 2011, promovem o mapeamento das regiões suscetíveis a contaminação por óleo. O método foi incorporado oficialmente no Brasil através da publicação do documento “Especificações e Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo” pelo Ministério do Meio Ambiente no ano de 2002. As especificações brasileiras foram baseadas na segunda versão do documento americano, que atualmente encontra-se na terceira versão (BRASIL, 2002).

Este método de classificação de sensibilidade foi desenvolvido nos Estados Unidos no final dos anos 70 como instrumento para orientar a definição de áreas prioritárias para a resposta a um vazamento de óleo (NATIONAL OCEAN AND ATMOSPHERE ADMINISTRATION – NOAA, 2002).

É um método bastante simples, que classifica as linhas de costa em função da persistência do óleo e da facilidade de limpeza, utilizando um índice de sensibilidade litorânea, ou ISL, que varia de 1 a 10, sendo uma linha de costa com valor de ISL 10 a mais sensível ao óleo e uma linha de costa com valor de ISL 1 a menos sensível. A figura 3-15 apresenta um quadro com os valores de ISL para as diferentes linhas de costa segundo o método americano e brasileiro. As cores que representam a linha de costa estão apresentadas na figura 3-16.

N° de ISL	NOAA	MMA
1A	Costão rochoso exposto	Costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos. Falésias em rochas sedimentares, expostas. Estruturas artificiais lisas (paredões marítimos artificiais), expostas.
1B	Estruturas artificiais expostas	
1C	Paredões rochosos expostos com depósito de tálus	
2A	Terraços expostos formados por rochas, areia ou lama	Costões rochosos lisos, de declividade média a baixa, expostos. Terraços ou substratos de declividade média, expostos (terraço ou plataforma de abrasão, terraço arenítico exumado bem consolidado, etc.)
2B	Escarpas e encostas íngremes e expostas de argila	
3A	Praias arenosas de granulometria média a fina	Praias dissipativas de areia média a fina, expostas. Faixas arenosas contíguas à praia, não vegetadas, sujeitas à ação de ressacas (restingas isoladas ou múltiplas, feixes alongados de restingas tipo "long beach"). Escarpas e taludes íngremes (formações do grupo Barreiras e Tabuleiros Litorâneos), expostas. Campos de dunas expostas.
3B	Escarpas e encostas íngremes e expostas de areia	
4	Praia arenosas de granulometria grosseira	Praias de areia grossa Praias intermediárias de areia fina a média, expostas Praias de areia fina a média, abrigadas
5	Praias mistas de areia e cascalho	Praias mistas de areia e cascalho, ou conchas e fragmentos de corais Terraço ou plataforma de abrasão de superfície irregular ou recoberta de vegetação Recifes areníticos em franja
6A	Praias de cascalho ou conchas	Praias de cascalho (seixos e calhaus) Costa de detritos calcários Depósito de tálus Enrocamentos ("rip-rap", guia corrente, quebra-mar) expostos Plataforma ou terraço exumado recoberto por concreções lateríticas (disformes e porosas)
6B	Enrocamento	
7	Planícies de maré expostas	Planície de maré arenosa exposta Terraço de baixa-mar
8A	Escarpas abrigadas	Escarpa / encosta de rocha lisa, abrigada Escarpa / encosta de rocha não lisa, abrigada Escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados Enrocamentos ("rip-rap" e outras estruturas artificiais não lisas) abrigados
8B	Estruturas artificiais abrigadas	
8C	Enrocamento abrigado	
8D	Praias rochosas abrigadas	
9A	Planícies de maré abrigadas	Planície de maré arenosa / lamosa abrigada e outras áreas úmidas costeiras não vegetadas Terraço de baixa-mar lamoso abrigado Recifes areníticos servindo de suporte para colônias de corais
9B	Baixios vegetados	
9C	Planícies de maré hipersalinas	
10A	Brejos	Deltas e barras de rio vegetadas Terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas Brejo salobro ou de água salgada, com vegetação adaptada ao meio salobro ou salgado; apicum Marismas Manguezal (mangues frontais e mangues de estuários)
10B	Pântanos	
10C	Marisma	
10D	Manguezais	

Figura 3-15 – Valores de ISL conforme a 3ª versão da NOAA e comparação com a classificação adotada pelo Ministério do Meio Ambiente (adaptado de NOAA, 2005 e BRASIL, 2002).

Nº de ISL	Cor
1A – 1B	Púrpura escuro
2A – 2B	Púrpura claro
3A – 3B	Azul
3C – 4	Azul claro
5	Verde azulado claro
6A	Verde
6B	Verde claro
7	Oliva
8A	Amarelo
8B	Pêssego
8C – 8F	Laranja claro
9A – 9C	Laranja
10A	Vermelho
10B	Magenta
10C	Vermelho escuro
10D	Marrom

Figura 3-16 – Cores dos índices de sensibilidade litorânea (adaptado de NOAA, 2002).

O ISL é definido pelo:

- Grau de exposição à energia de ondas e marés;
- Declividade da costa;
- Tipo de substrato (granulometria, facilidade de mobilização e permeabilidade); e
- Sensitividade e produtividade biológica.

Estes fatores são considerados preponderantes na estimativa do tempo necessário para recuperação do ambiente e na facilidade para a aplicação das técnicas de limpeza (NATIONAL OCEAN AND ATMOSPHERE ADMINISTRATION – NOAA, 2005). Uma deficiência deste método é que os valores ISL não representam quantitativamente a sensibilidade, isto é, uma linha de costa com ISL 5 não cinco vezes mais sensível que uma linha de costa com ISL 1. Da mesma forma, um local com ISL 1 pode ser uma área de nidificação de aves sob risco de extinção, o que definitivamente não caracteriza um local com baixa sensibilidade ao óleo (INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION – IMO & INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENT CONSERVATION ASSOCIATION – IPIECA, 1994).

O grau de exposição é classificado como exposto ou abrigado. Em locais expostos o impacto tende a ser menor, uma vez que o óleo é removido pela ação das ondas, o sedimento é revolvido frequentemente e os organismos tendem a ser mais resistentes neste ambiente mais agressivo. Os tipos de costa de 1A a 2B possuem alta exposição, os tipos 3A a 7 possuem média exposição e 8A a 10D possuem baixa exposição (NATIONAL OCEAN AND ATMOSPHERE ADMINISTRATION – NOAA, 2005).

A declividade da costa é classificada por degraus (quando maior que 30°), moderada (entre 30° e 5°) e plano (menor que 5°). Declividades maiores facilitam a limpeza, uma vez que as ondas dissipam toda sua energia em pouco tempo, facilitando a remoção do óleo. Ademais, áreas planas possibilitam a contaminação de áreas mais extensas e normalmente mais ocupadas por organismos. Este fator não é importante em áreas abrigadas (*ibidem*).

O tipo de substrato pode ser rochoso (permeável ou impermeável), lamoso, arenoso (fino, médio ou grosseiro), cascalho, matacões e artificial (enrocamento ou paredes). Quanto maior a porosidade do substrato, maior a dificuldade na remoção do óleo, tanto natural quanto promovida pelo homem, podendo necessitar de técnicas agressivas, dependendo do caso. Cascalhos e matacões possibilitam o entranhamento do óleo em camadas com mais de um metro de extensão. A presença de túneis e tocas aumenta o potencial de penetração do óleo e a dificuldade de remoção. Outra característica do substrato que influi na remoção do óleo é a tendência a depósito em camadas. Linhas de costa com esse comportamento podem enterrar o óleo, dificultando a remoção. Substratos que dificultem o tráfego de pessoas e equipamentos, tais como substratos lamosos, também possuem ISL elevado por dificultar a operação de limpeza (*ibidem*).

A produtividade e sensibilidade biológica considera habitats vegetados como locais com maior ISL, devido ao impacto direto na vegetação e o impacto subsequente das operações de limpeza. Locais que possuem função ecológica de área de forrageio, tais como planícies de maré também possuem elevado ISL.

O ISL não considera, de maneira direta, a sensibilidade dos organismos e dos usos sócio-econômicos dos ambientes. Apesar disso, as cartas SAO representam a presença destes componentes através de símbolos gráficos. A figura 3-17 apresenta exemplos de símbolos recomendados pelo MMA.

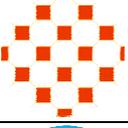
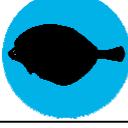
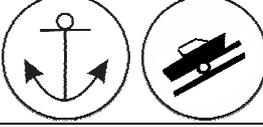
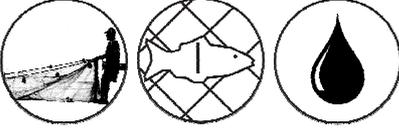
Grupo	Símbolo
Aves limícolas <ul style="list-style-type: none"> • Maçaricos, batuíras, quero-quero: são na maioria aves pernaltas praianas, marinhas ou continentais, que vivem em áreas alagadas e buscam alimentação em lama e águas rasas; muitas são migratórias 	
Aves aquáticas continentais <ul style="list-style-type: none"> • Patos, marrecos • Mergulhões, biguás • Garças, flamingos, colhereiros (pernaltas) 	
Sítios de nidificação de aves	
Mamíferos terrestres <ul style="list-style-type: none"> • Roedores (capivara / ratão do banhado / furão / quati / guaxinim) 	
Áreas de alimentação / Sítios de repouso de mamíferos	
Peixes <ul style="list-style-type: none"> • Demersais (teleósteos e elasmobrânquios) 	
Invertebrados marinhos <ul style="list-style-type: none"> • Crustáceos (caranguejos e siris) • Bivalves (ostras, mexilhões, sururus e vieiras) 	
Banco de algas e plantas aquáticas	
Recreação <ul style="list-style-type: none"> • Marina / late clube • Rampa para embarcações 	
Recursos <ul style="list-style-type: none"> • Pesca artesanal • Pesca industrial • Tomada de água 	

Figura 3-17 – Símbolos para representação de componentes ambientais e sócio-econômicos nas cartas SAO (Fonte: BRASIL, 2002).

Quando estes organismos e usos sócio-econômicos apresentam caráter sazonal, os símbolos recebem uma notação anexa para representar esta sazonalidade. Normalmente a representação é feita com um anel ao redor do símbolo dividido em seções que representam os meses. Os meses onde a condição

sensível ocorre é destacado (NATIONAL OCEAN AND ATMOSPHERE ADMINISTRATION – NOAA, 2002). A figura 3-18 apresenta um exemplo de representação de período de reprodução de aves.



Figura 3-18 – Representação de sazonalidade de componentes sensíveis ao óleo de janeiro a março (Fonte: IMO & IPIECA, 1994).

Os mapas gerados por este método permitem auxiliar a decisão quanto os locais que devem ser prioritariamente alvos de resposta.

Locais com ISL 1 não necessitam de operações de resposta normalmente, uma vez que o óleo não tem tendência a persistir e a dinâmica natural opera a remoção.

Em locais com ISL 2 normalmente não existe necessidade de operação de resposta, e quando necessária, é realizada somente uma remoção de detritos acumulados na linha de maré alta.

Linhas de costa com ISL 3 demandam operação de limpeza rápida somente quando a contaminação ocorre em períodos erosivos, uma vez que o óleo pode ficar enterrado quando se inicia o período deposicional. Ademais, as operações de limpeza costumam ser fáceis, permitindo o tráfego de pessoas e equipamentos.

No ISL 4 a resposta deve ser rápida devido ao elevado potencial de enterramento do óleo e da possibilidade de demanda de limpeza em diversas camadas. Entretanto, a riqueza biológica tende a ser baixa.

Locais com ISL 5 devem ser protegidos uma vez que o óleo tende a penetrar no substrato e a limpeza natural ocorre somente em períodos de remoção, tais como ressacas. A riqueza biológica tende a ser baixa.

No ISL 6 a penetração do óleo é rápida e profunda. As operações de limpeza não devem envolver a remoção do sedimento contaminado, uma vez que a reposição dos sedimentos é baixa. Nos enrocamentos, o jateamento de água pode

ser uma operação de limpeza válida, porém com eficiência limitada. Em alguns casos, somente a substituição do enronçamento permite a limpeza completa.

Costas com ISL 7 possuem abundância de organismos, dificuldades de tráfego e por sua baixa declividade contaminam grandes áreas. O tráfego de pessoas e veículos pode potencializar o enterramento do óleo.

Devida as condições abrigadas de costas com ISL 8, a persistência do óleo é elevada. Neste tipo de costa costuma haver abundância de organismos. A limpeza é necessária, porém a técnica deve ser selecionada considerando os impactos da sua aplicação sobre os organismos existentes.

O acesso de pessoas e equipamentos em costas com ISL 9 é praticamente impossível, dificultando enormemente as operações de limpeza. A recuperação natural é extremamente baixa. Estes locais devem ter sua proteção priorizada.

Finalizando, locais com ISL 10 são os mais sensíveis ao óleo. O tráfego de pessoas e equipamentos é desaconselhável, pois incrementa o enterramento do óleo. A remoção natural é irrisória e a abundância de organismos é elevada, servindo também como berçário e local de forrageio para muitas espécies. Os organismos existentes costumam cavar tocas e túneis, facilitando o entranhamento do óleo. Por serem locais com baixa declividade, a contaminação de grandes áreas é esperada. A proteção destes locais deve ser priorizada uma vez que a descontaminação é pouco provável.

3.4. BARREIRAS PARA RESPOSTA A VAZAMENTO DE ÓLEO

As técnicas de resposta a serem empregadas devem ser previstas com base nas características esperadas do óleo que apresenta possibilidade de contaminar o local, as próprias características do local, principalmente a sua sensibilidade ao óleo e às operações de resposta em si (CANTAGALLO, MILANELLI & DIAS-BRITO, 2007).

A escolha da melhor técnica, ou ainda da melhor combinação de técnicas de resposta é crucial para reduzir os impactos nos entes sócio-ambientais (INTERNATIONAL TANKERS OWNER POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2011). A técnica de resposta não deve ser mais impactante que o óleo em si, e deve ser suficiente para descontaminar o ambiente ou proporcionar rapidez na recuperação natural, como pontuam Michel & Benggio (1999). Uma das formas de

selecionar a técnica de resposta ou a priorização de ações é o *Net Environmental Benefit Analysis*, também chamado pela sua sigla, NEBA, que em uma tradução livre para o português seria Análise de Benefício Ambiental Líquido. O NEBA se baseia na atribuição de valores para as vantagens e desvantagens de cada opção e na comparação das notas finais. A avaliação considera as características do vazamento, os aspectos práticos das técnicas de resposta, os conhecimentos científicos a respeito dos impactos ambientais do óleo e das técnicas de resposta, e os fatores sociais, econômicos e ambientais. É importante frisar que dificilmente as opções são isentas de desvantagens, principalmente quando existem conflitos de interesses (INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENT CONSERVATION ASSOCIATION – IPIECA, 2000b).

As técnicas de resposta existentes na área costeira são:

- Deflexão;
- Contenção e recolhimento;
- Dispersão mecânica;
- Dispersão química;
- Queima *in situ*; e
- Limpeza de costa.

Independente do ecossistema, de forma geral, é interessante evitar que o óleo atinja a costa. Esta afirmação é mais verdadeira ainda nos estuários, uma vez que os processos naturais de intemperismo do óleo são bastante restritos ali, em função da baixa energia de ondas atuantes e baixa concentração de oxigênio no substrato de alguns ambientes ali existentes (INTERNATIONAL TANKERS OWNER POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPIF, 2011). Assim sendo as melhores técnicas de resposta nestes ambientes são a proteção de componentes sócio-ambientais sensíveis pelo seu isolamento ou pela deflexão do óleo para áreas menos sensíveis.

A contenção e recolhimento também são técnicas que evitam a chegada do óleo nos ambientes sensíveis, além de promover a remoção do óleo, sendo, portanto, uma das técnicas recomendáveis para utilização em estuários. Neste

trabalho somente será abordada a técnica de contenção, sem considerar o recolhimento.

A dispersão mecânica é realizada pela fragmentação e mistura do óleo na coluna d'água, aumentando a superfície de contato disponível para a biodegradação. Esta mistura é realizada pela agitação causada pelos hélices das embarcações ou por jatos d'água direcionados às manchas flutuantes. A proximidade de áreas sensíveis como manguezais e marismas faz desta técnica uma opção pouco recomendada nos estuários (PIMENTEL, 2007). Esta técnica não será abordada neste trabalho.

A dispersão química é regulamentada pela legislação nacional, que impede o uso de dispersantes em estuários (BRASIL, 2000), de forma que não será uma opção de resposta avaliada neste trabalho.

A técnica de queima *in situ* não é prevista pela legislação brasileira, portanto não será abordada neste trabalho.

A limpeza de ambientes contaminados é uma operação de resposta de longo termo, não sendo, portanto, objeto deste estudo que visa dimensionar os recursos para a primeira resposta.

As barreiras flutuantes utilizadas para a resposta a vazamentos de óleo são obstáculos utilizados para impedir a passagem do óleo, desviar sua trajetória ou promover a sua acumulação para uma posterior ação de remoção (INTERNATIONAL TANKERS OWNER POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2011).

Oebius (1999) apresenta quatro formas de uso de barreiras.

- Contenção;
- Varredura;
- Deflexão; e
- Cerco.

A figura 3-19 apresenta esboços das quatro formas de uso.

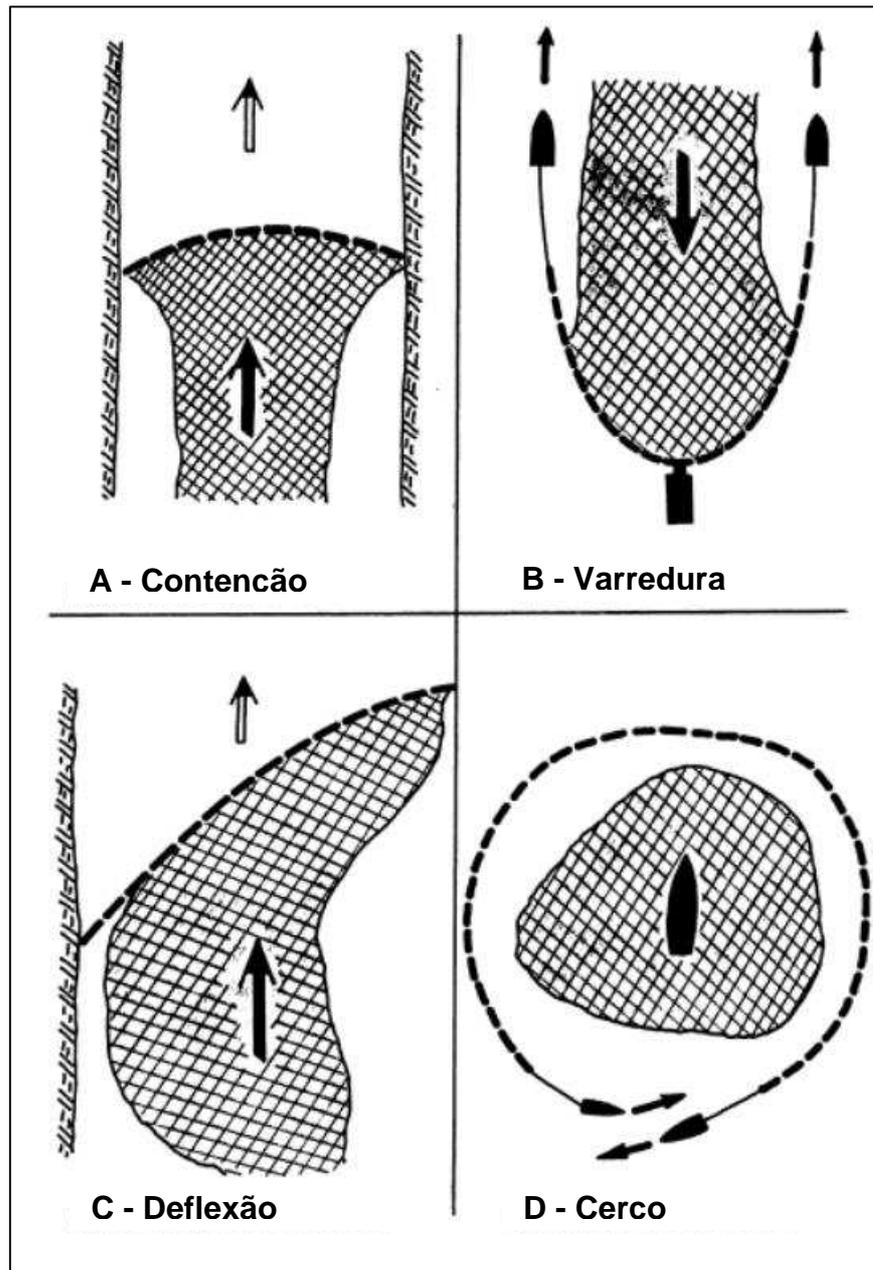


Figura 3-19 – Formas de uso de barreiras (Adaptado de: OEBIUS, 1999).

Segundo Oebius (1999) a contenção consiste no uso de barreiras para acumular óleo no interior da catenária formada pelas barreiras utilizando a deriva natural da mancha. A varredura tem o mesmo objetivo, porém utiliza meios ativos de transporte para deslocar as barreiras para o local desejado. A deflexão tem como objetivo desviar a deriva do óleo. O cerco objetiva conter e concentrar o óleo em um determinado local ou isolar algum local específico do contato com o óleo.

Dada a flutuabilidade da maioria absoluta dos óleos, a contenção é normalmente realizada com barreiras flutuantes de diversos materiais, tais como

plásticos e tecidos, em tamanhos e configurações diversas (CHEREMISINOFF & DAVIETSHIN, 2011).

A contenção, a varredura e a deflexão podem ser executadas em diversas configurações, sendo os extremos das barreiras ancorados ou carregados por embarcações. A figura 3-20 apresenta as configurações possíveis utilizando embarcações. A figura 3-21 apresenta as configurações possíveis utilizando ancoramento e embarcações de apoio.

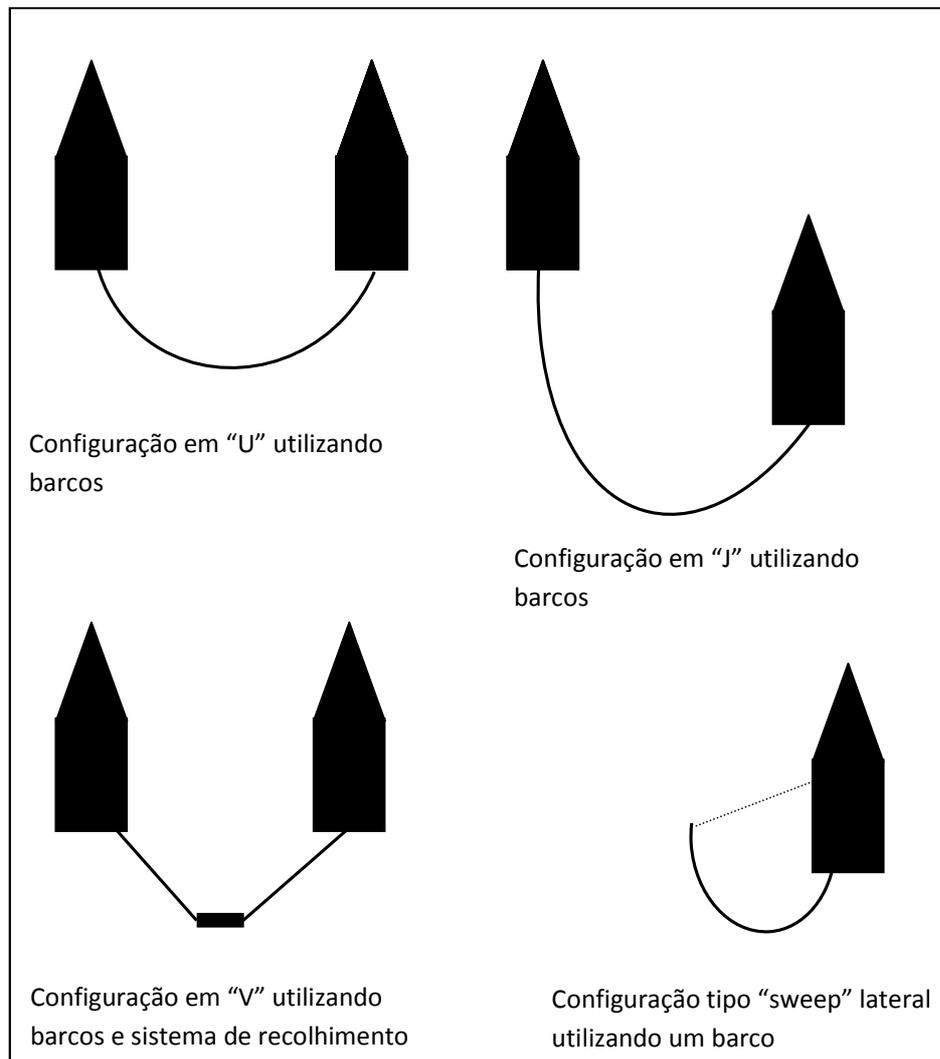


Figura 3-20 – Configurações de barreiras utilizando embarcações.

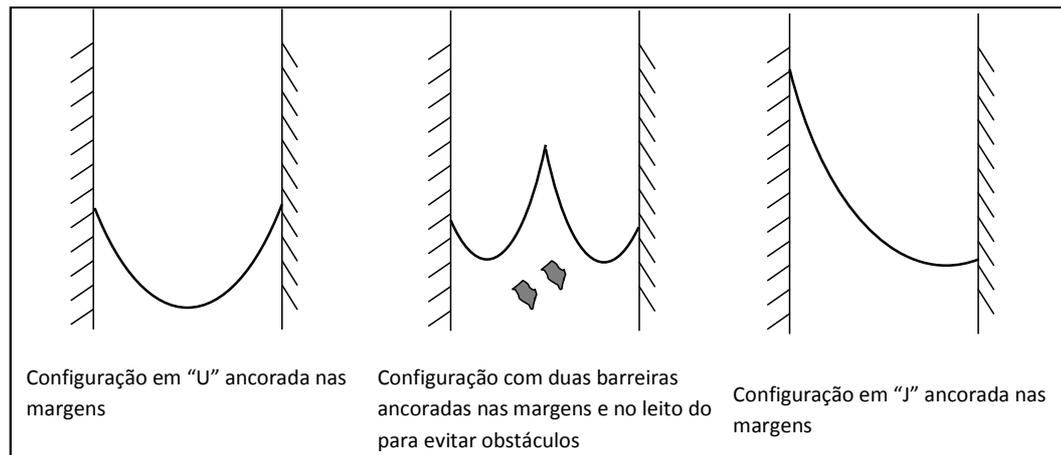


Figura 3-21 – Formações ancoradas nas margens.

O uso de barreiras para a contenção do óleo e posterior recolhimento possui severas limitações principalmente devido a tendência de espalhamento do óleo, gerando manchas com áreas extensas. Além disso, o óleo tende a se fragmentar. O espalhamento e a fragmentação tornam a contenção de todo óleo vazado uma operação virtualmente impossível (INTERNATIONAL TANKERS OWNER POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2011).

As barreiras físicas podem ser empregadas para defletir o deslocamento do óleo em direção de áreas menos sensíveis ou para direcionar óleos com baixo ponto de fulgor para longe das operações de resposta, evitando riscos a segurança (CHEREMISINOFF & DAVIETSHIN, 2011; INTERNATIONAL TANKERS OWNER POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2011).

A deflexão pode ser utilizada para proteger a abertura de lagunas costeiras, a captação de água para fazendas marinhas, marinas, áreas de desova, manguezais ou outros entes sócio-ambientais sensíveis a contaminação por óleo. Esta técnica é mais efetiva se o ente sócio-ambiental não pode ser integralmente cercado (OEBIUS, 1999; DICKS *et al.*, 2000; INTERNATIONAL TANKERS OWNER POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2001).

Alguns entes sócio-ambientais são tão extensos, tais como praias e manguezais, que não permitem a sua proteção integral (INTERNATIONAL TANKERS OWNER POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOPF, 2011), ainda mais considerando a grande necessidade de pontos de fixação e complexidade das operações em função das variações de maré (OEBIUS, 1999). Nestes casos uma alternativa é o uso de barreiras deflectivas para limitar a contaminação destes entes a partes restritas, protegendo as demais, conforme apresentado na figura 3-22. O

mesmo autor sugere que esta estratégia seja adotada quando a velocidade da correnteza exceda 0,72 nós. Fingas (2011) sugere que a deflexão seja adotada quando a intensidade da correnteza seja superior a um nó. Este mesmo valor é adotado pela Guarda Costeira Americana (UNITED STATES COAST GUARD – USCG, 2001).

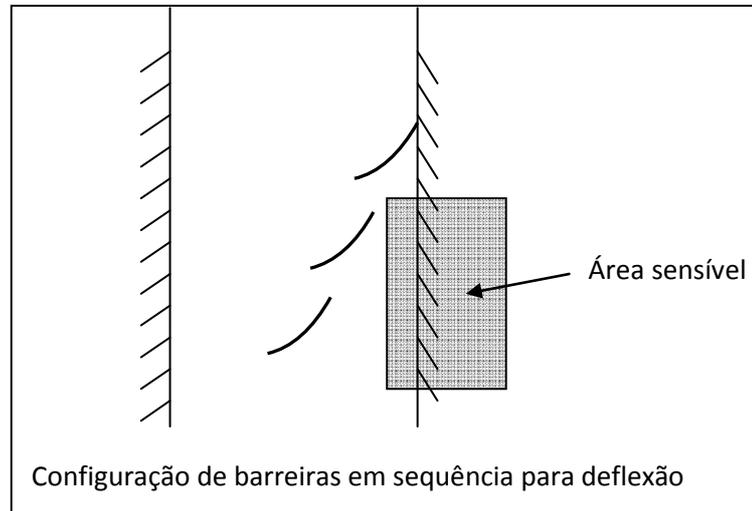


Figura 3-22 – Configuração de barreiras em sequência para deflexão.

Ademais, a disposição de barreiras em águas rasas com o intuito de proteger um ambiente pode levar, inicialmente, a erosão local seguida de desenvolvimento de canais por onde o óleo pode ultrapassar as barreiras (OEBIUS, 1999).

3.4.1. Elementos das barreiras

Em função do seu uso, não existe um tipo padrão de barreira, podendo apresentar diversos formatos, tamanhos e materiais. Barreiras podem ser feitas até mesmo com materiais improvisados (CHEREMISINOFF & DAVIETSHIN, 2011). Segundo Fingas (2011) a maior parte das barreiras comerciais é composta por quatro elementos:

- Material flutuante (*means of flotation*);
- Borda-livre (*freeboard*);
- Saia (*skirt*); e
- Sistema de tensionamento (*tension member*).

A figura 3-23 apresenta os elementos que formam as barreiras.

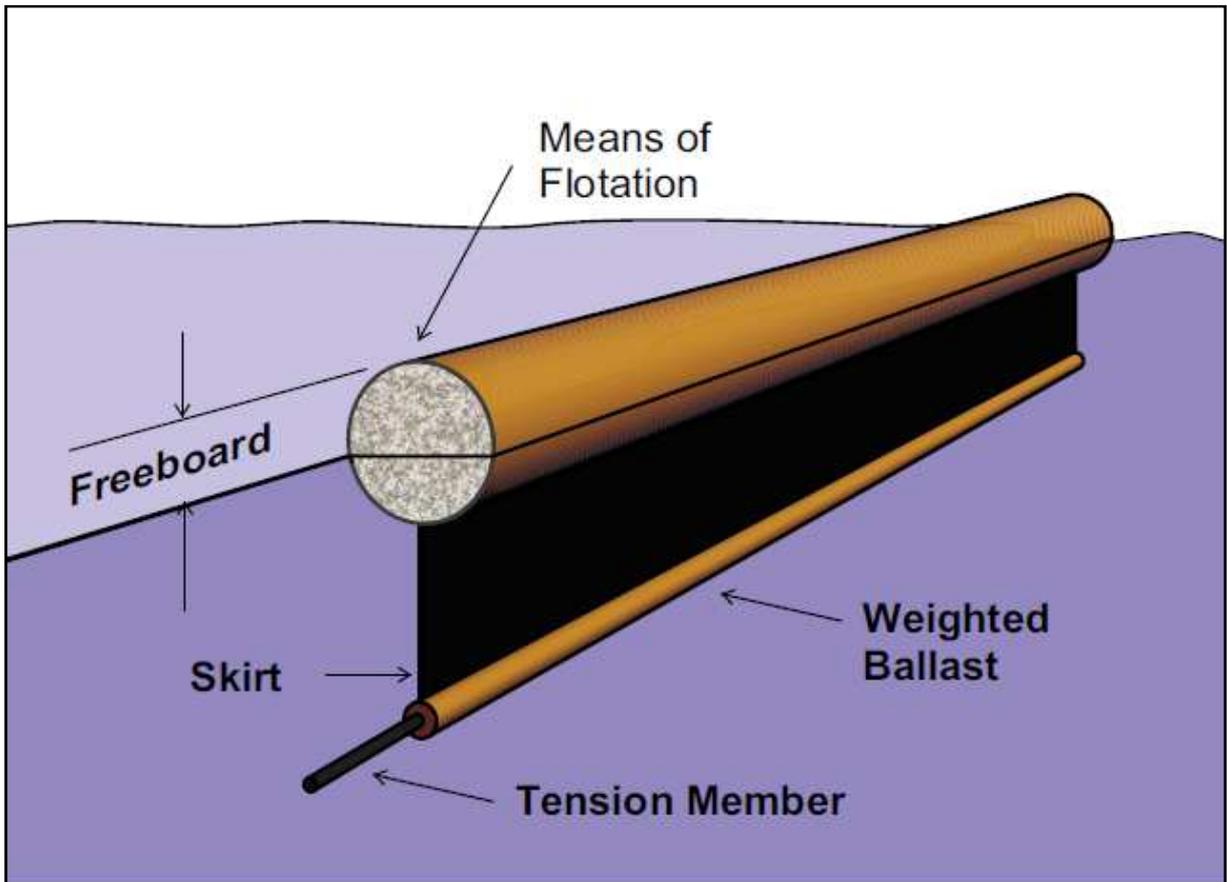


Figura 3-23 – Principais elementos das barreiras (Fonte: FINGAS, 2011).

O material flutuante pode ser composto por plástico, espuma, cortiça, isopor, madeira, outros materiais com baixa densidade, ou tecidos diversos preenchidos com ar. Além de permitir a flutuabilidade da barreira, é um dos elementos que bloqueia a passagem do óleo sobre a barreira. Neste ponto, a altura entre a linha d'água e o topo da barreira é determinante. Esta dimensão é chamada de borda-livre (CHEREMISINOFF & DAVIETSHIN, 2011; FINGAS, 2011).

Os sistemas de flutuação infláveis possuem como vantagem a redução de espaço necessário para armazenamento e transporte. A possibilidade de furos e rompimentos, além da necessidade de sistema para insuflamento são desvantagens deste tipo de sistema. Já os sistemas de flutuação com câmaras preenchidas com material de baixa densidade são mais confiáveis, porém demandam mais espaço para armazenamento e para transporte (CHEREMISINOFF & DAVIETSHIN, 2011).

Alguns tipos de barreiras são divididos em seções, necessitando de conectores para unir cada uma destas seções, permitindo formar grandes extensões de barreiras. Estes conectores podem ser feitos de aço inoxidável ou outros

materiais. Existem seis padrões de conectores mais utilizados. Os padrões de conectores são normalmente incompatíveis entre si, demandando uma seleção criteriosa do padrão durante a aquisição de equipamentos e planejamento da resposta. Os conectores são afixados entre si com parafusos e grampos de metal ou plástico. Para operações mais longas, os parafusos de metal com porcas-borboletas são os ideais devido a sua confiabilidade. Normalmente os fornecedores disponibilizam as barreiras oceânicas em seções de 250 a 300 metros (CHEREMISINOFF & DAVIETSHIN, 2011) e barreiras costeiras em seções de 15 a 30 metros (FINGAS, 2011).

A saia das barreiras é a porção entre a linha d'água e o limite inferior da parte submersa da barreira. Tem como propósito evitar que o óleo passe por baixo da barreira (CHEREMISINOFF & DAVIETSHIN, 2011; FINGAS, 2011).

O sistema de tensionamento é necessário uma vez que os materiais que compõem a barreira não são resistentes o suficiente para suportar as tensões que ela pode ser submetida durante as operações de resposta (FINGAS, 2011).

O lastro é o peso instalado na borda da saia da barreira e tem por finalidade manter a barreira em posição perpendicular. O lastro pode ser feito com correntes de aço, pedaços de chumbo ou mesmo câmaras preenchidas com água.

As barreiras cujo sistema de flutuação depende de insuflamento necessitam de equipamentos para este fim. Estes equipamentos podem insuflar a barreira no momento do lançamento ou manter constante insuflamento enquanto a barreira está em operação (CHEREMISINOFF & DAVIETSHIN, 2011).

Os sistemas de amarração são compostos por cabos, âncoras e estacas. Servem para manter a barreira na posição desejada. A ancoragem inadequada das barreiras é uma das causas da aplicação ineficiente das técnicas de contenção, proteção e deflexão (DICKS *et al.*, 2000). A figura 3-24 apresenta formas de amarração de barreiras em terra.

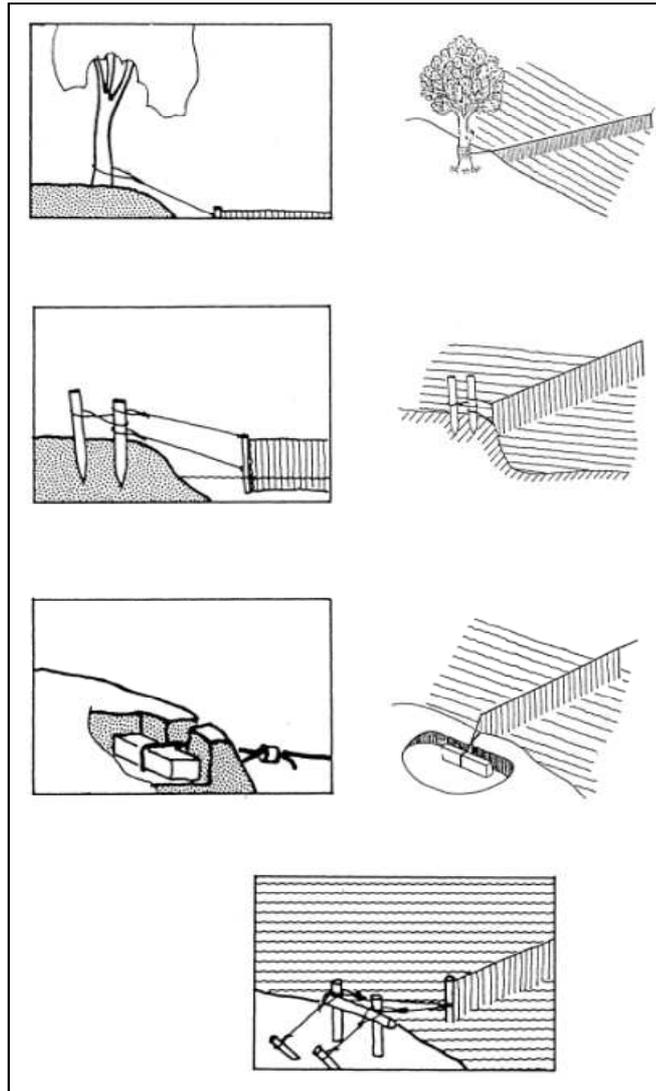


Figura 3-24 – Formas de ancoragem de barreiras em terra (Fonte: OEBIUS, 1999).

As barreiras apresentam como principais dimensões o comprimento, a borda livre, o calado e a altura. A figura 3-25 apresenta estas dimensões.

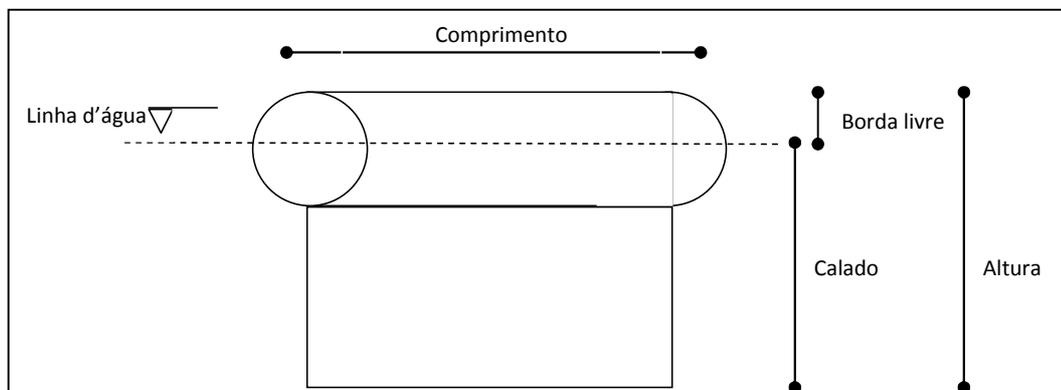


Figura 3-25 – Principais dimensões das barreiras.

3.4.2. Tipos de barreiras

A norma ASTM F 818 (ASTM, 2009), apresenta uma série de tipos de barreiras, classificadas em função do seu formato e do seu uso. Neste documento somente serão apresentadas as barreiras utilizadas em águas costeiras e para proteção de estuários. São elas:

- **Barreiras tipo cortina** – Formadas por saias flexíveis suportadas por sistemas de flutuação. A borda livre é formada apenas pelo sistema de flutuação – São adequadas para uso em ventos e correntes fortes (CHERMISINOFF & DAVIETSHIN, 2011; FINGAS, 2011);
- **Barreiras tipo cerca** – Formadas por saias rígidas flutuantes ou suportadas por sistema de flutuação - Não são indicados para ventos e correntes fortes (CHERMISINOFF & DAVIETSHIN, 2011; FINGAS, 2011); e
- **Barreiras para selar a costa ou de interface** – São formadas por um tubo no topo preenchido com ar para servir como elemento flutuante e dois tubos na base preenchidos com água para servir como lastro e como sistema de assentamento da barreira no fundo. É útil na zona entre marés, permitindo a contenção em maré alta e baixa. (CHERMISINOFF & DAVIETSHIN, 2011).

As barreiras para águas calmas, para rios, águas protegidas, mar aberto e etc. são especificações de barreiras tipo cortina ou cerca.

A figura 3-26 apresenta uma foto com uma barreira tipo cerca disposta na água.

A figura 3-27 apresenta fotos com exemplos de barreiras tipo cortina.

A figura 3-28 apresenta uma foto de barreira de interface.



Figura 3-26 – Exemplo de barreira tipo cerca (Fonte: INTERNATIONAL DIRECTORY OF OIL SPILL CLEANUP CONTRACTORS, 2011).



Figura 3-27 – Fotos com barreiras tipo cortina. À esquerda, uma barreira com gomos. À direita, uma barreira contínua (Fonte: INTERNATIONAL DIRECTORY OF OIL SPILL CLEANUP CONTRACTORS, 2011).



Figura 3-28 – Barreira para selar a costa ou de interface (Fonte: INTERNATIONAL DIRECTORY OF OIL SPILL CLEANUP CONTRACTORS, 2011).

A seleção do tipo e características da barreira a ser utilizada depende da estratégia de resposta, da intensidade e direção da corrente da água, da intensidade e direção do vento, da altura e frequência das ondas e da profundidade da água (CHERMISINOFF & DAVIETSHIN, 2011).

3.4.3. Limitações no uso de barreiras

A eficiência das barreiras é afetada pela correnteza da água, pela intensidade dos ventos e pelas ondas (FINGAS, 2011). As barreiras são mais eficientes em águas calmas, com vento reduzido e ausência de ondas. Em águas agitadas existe a possibilidade da barreira não conseguir conter o óleo ou se romper (CHERMISINOFF & DAVIETSHIN, 2011). As barreiras são os equipamentos de resposta mais suscetíveis a influência das condições de tempo (FINGAS, ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY CENTRE – ETC & ENVIRONMENT CANADA – EC, 2004).

A barreira deve ter características que evitem a passagem do óleo por cima da sua borda livre nem por baixo da sua saia (OEBIUS, 1999). A figura 3-29 apresenta representações da passagem de óleo pela barreira.

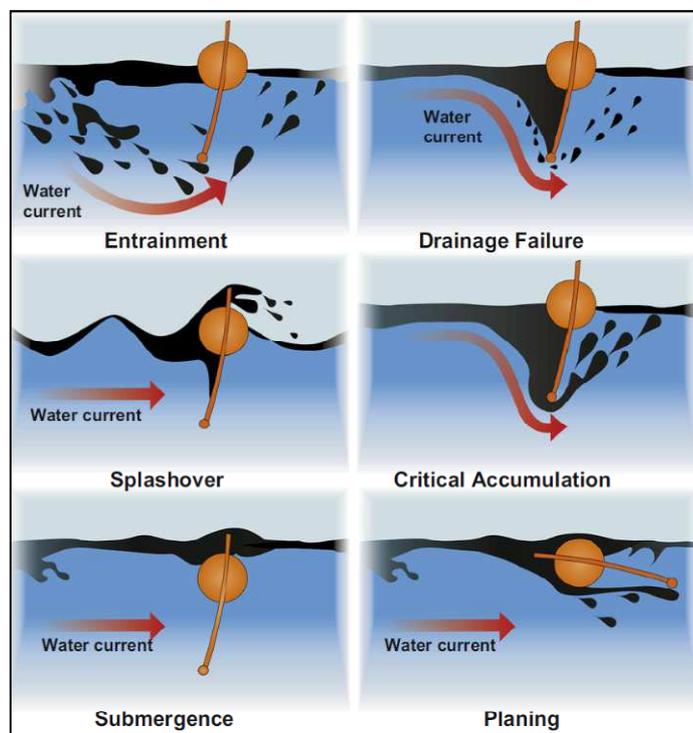


Figura 3-29 – Exemplos de falhas que levam a passagem do óleo pela barreira (Fonte: FINGAS, 2011).

A passagem de óleo sob a barreira está intimamente ligada com a velocidade com que a barreira se desloca em relação à água. Velocidades relativas elevadas

propiciam esta falha nas barreiras. Esta situação é especialmente aplicável a barreiras disposta perpendicularmente ao sentido da correnteza, tais como barreiras aplicadas para contenção. Barreiras posicionadas de forma inclinada ao sentido da corrente, defletindo o movimento do óleo são menos sujeitas a estas falhas (OEBIUS, 1999).

3.5. DIMENSIONAMENTO DE BARREIRAS EM ESTUÁRIOS

O dimensionamento de barreiras em estuários com base na análise de risco do empreendimento e na modelagem probabilística de comportamento do óleo pode ser dividido em seis fases:

1. Definição da distância máxima em que o inventário de barreiras pode se localizar;
2. Definição das especificações das barreiras;
3. Definição da quantidade de barreiras para proteção e deflexão na desembocadura do estuário;
4. Definição da quantidade de barreiras para proteção de componentes de valor ambiental;
5. Definição de quantidade e qualidade de equipamentos acessórios; e
6. Definição da quantidade de recursos humanos necessários e equipamentos de segurança.

O planejamento no uso de barreiras é essencial para evitar a perda de tempo e de recursos em uma situação de emergência (MARITIME AND COASTGUARD AGENCY – MCA, 1999).

Para realizar este dimensionamento é necessário segregarmos algumas informações chave relativas a características gerais do estuário, a modelagem probabilística do vazamento, os componentes de valor ambiental vulneráveis e de prontidão dos recursos de resposta. Muitas dessas informações são obtidas nas Cartas de Sensibilidade Ambiental, que também deverá ser consultada para espacializar os componentes de valor ambiental.

No Reino Unido, o dimensionamento de barreiras para estuários e outros ambientes sensíveis é feito através de croquis em mapas dentro de documentos chamados *booming plans*, ou planos de uso de barreiras. Estes planos são

validados por exercícios simulados ou por atendimentos reais (PERRY, 1999; MARITIME AND COASTGUARD AGENCY – MCA, 1999). Porém, é relatado que poucos estuários possuem um plano de uso de barreiras (PERRY, 1999).

Uma série de informações e características são necessárias para o dimensionamento de recursos de resposta e estratégias (NATIONAL OCEAN AND ATMOSPHERE ADMINISTRATION – NOAA, 2010). As informações e características necessárias dimensionamento de barreiras em estuários são:

- Características gerais do estuário:
 - Largura do rio na foz durante a maré enchente;
 - Intensidade máxima da correnteza no sentido da montante durante a maré enchente;
 - Calado do rio na foz;
 - Tipo de fundo; e
 - Intensidade média dos ventos.
- Características dos componentes de valor ambiental vulneráveis:
 - Que não podem ser cercados:
 - Comprimento total exposto.
 - Que podem ser cercados:
 - Perímetro total.
- Resultados da modelagem probabilística:
 - Probabilidade de chegada do óleo no estuário; e
 - Tempo mínimo de chegada do óleo no estuário.
- Características da prontidão:
 - Velocidade média estimada de deslocamento dos recursos;
 - Tempo estimado de mobilização dos recursos; e
 - Tempo estimado de instalação.

O dimensionamento da quantidade de barreiras para uso em estuários, principalmente às utilizadas para a proteção de componentes de valor ambiental, deve se restringir a zona a jusante da zona de influência da água marinha em superfície durante a maré enchente. De forma grosseira, o limite de ingresso da água marinha em superfície nos estuários está marcado pelo ponto mais a montante aonde se encontra vegetações típicas de manguezal.

Em locais sem presença de manguezais, medições do limite superior em que se registra o ingresso de água marinha em superfície deverão ser realizadas.

3.5.1. Localização dos estoques de barreiras e tempos de resposta

Uma das abordagens para a localização e dimensionamento dos recursos de resposta é o escalonamento da capacidade de resposta, ou em inglês *tiered preparedness and response*. Nesta abordagem estão previstos três níveis de resposta. O nível local ou *tier 1*, com recursos disponíveis no local do incidente para a resposta imediata e limitada. O nível regional ou *tier 2*, com recursos adicionais para complementar os recursos locais e/ou recursos para quando as consequências extrapolam os limites locais. E finalmente o nível corporativo, nacional, internacional ou *tier 3*, com recursos para emergências de grande porte e de tempo prolongado (INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENT CONSERVATION ASSOCIATION – IPIECA, 2007). O total de equipamentos necessários previstos em um plano de emergência pode vir de inventário próprio ou de outras organizações com as quais o empreendedor tenha firmado um acordo (DICKS *et al.*, 2000; CHEREMISINOFF & DAVIETSHIN, 2011).

Neste trabalho, os recursos foram dimensionados como de *tier 2*, ou seja, utilizados quando o incidente extrapola os recursos locais.

Um conceito importante a ser adotado neste trabalho é o tempo de resposta. Neste trabalho o tempo de resposta será considerado o somatório do tempo de mobilização de recursos, o tempo de deslocamento de recursos até o local de atendimento e o tempo de instalação, conforme descrito na equação 3-2. O tempo de resposta é o período de tempo estimado entre a decisão pela mobilização dos recursos e a sua efetiva instalação na frente de resposta. É um conceito teórico, uma vez que um número de situações pode dilatar ou reduzir os tempos que o compõem. De forma a aumentar a margem de segurança, os cálculos de tempo podem ser feitos de forma conservativa, considerando os piores casos, porém recomenda-se o uso de situações médias.

Equação 3-2 – Tempo de resposta.

$$T_r = T_m + T_d + T_i$$

Onde,

T_r = Tempo de resposta

T_m = Tempo de mobilização

T_d = Tempo de deslocamento

T_i = Tempo de instalação

O tempo de mobilização é o tempo estimado entre a decisão pelo acionamento e o início do deslocamento até o local do atendimento. É composto pela preparação das equipes, pelo embarque ou carregamento do material, emissões de notas fiscais, etc. Os tempos de mobilização podem ser reduzidos pelo pré-acondicionamento dos materiais, pela existência de equipes em estado de prontidão e pela celebração de convênios para agilizar a emissão de notas fiscais ou mesmo o tráfego destes equipamentos com um documento que substitua a nota fiscal. O tempo de mobilização pode ser levantado em exercícios.

O tempo de deslocamento é o tempo entre a saída do local de origem até a chegada no local da resposta. Deve ser estimada com base na velocidade média conservativa e nas distâncias envolvidas. O tempo de deslocamento pode ser estimado para as diferentes rotas possíveis.

E finalmente, o tempo de instalação é o tempo estimado para a disposição dos materiais e equipes de resposta no local de atendimento. O tempo de instalação pode ser medido em exercícios e pode ser extrapolado com base na capacitação das equipes.

A localização dos equipamentos deve ser escolhida de forma a permitir a chegada destes equipamentos no tempo de resposta adequado, previsto pelas modelagens de comportamento de óleo (CHEREMISINOFF & DAVIETSHIN, 2011). Assim, os tempos mínimos de chegada de óleo nos estuários devem servir como balizador para a localização dos inventários de equipamentos. Ou seja, o tempo de resposta deve ser igual ou menor que o tempo mínimo de chegada de óleo no estuário, conforme apresentado na equação 3-3.

Equação 3-3 – Relação entre tempo de resposta e tempo de toque de óleo no estuário.

$$T_r \leq T_t$$

Onde,

T_r = Tempo de resposta

T_t = Tempo de mínimo de toque de óleo no estuário

A aplicação da equação de cálculo da velocidade média linear e o isolamento da incógnita referente ao tempo de deslocamento na equação 3-2 permite definir a distância máxima entre o inventário e o estuário, conforme demonstra a equação 3-4.

Equação 3-4 – Distância máxima entre o inventário e o estuário.

$$T_r = T_m + T_d + T_i; \quad (1)$$

$$T_r - T_d = T_m + T_i; \quad (2)$$

$$-T_d = T_m + T_i - T_r; \quad (3)$$

$$T_d = T_r - (T_m + T_i); \quad (4)$$

Considerando a equação da velocidade média linear;

$$\frac{D}{v_d} = T_r - (T_m + T_i); \quad (5)$$

$$D = V_d \times [T_r - (T_m + T_i)]$$

Onde,

D = Distância entre o inventário e o estuário

V_d = Velocidade média de deslocamento

T_r = Tempo de resposta

T_m = Tempo de mobilização

T_d = Tempo de deslocamento

T_i = Tempo de instalação

3.5.2. Definição das especificações das barreiras

A utilização de barreiras na foz de estuários envolve técnicas complexas que demandam ajustes no posicionamento das barreiras a cada inversão de maré, e ancoramento dimensionado para as variações de profundidade também em função das marés (UNITED STATES COAST GUARD – USCG, 2001). A figura 3-30 apresenta o uso de barreiras em situação de maré enchente e vazante.



Figura 3-30 – Barreiras durante maré enchente e maré vazante (Fonte: USCG, 2001).

As barreiras devem possuir borda livre compatível com o estado esperado do mar e a altura das ondas. Em águas rasas, a saia das barreiras deve ter o comprimento máximo de 20% da profundidade para evitar o aumento da velocidade da corrente submarina e uma eventual passagem de óleo por baixo da barreira (CHEREMISINOFF & DAVIETSHIN, 2011). A agência americana para os oceanos e a atmosfera (NATIONAL OCEAN AND ATMOSPHERE ADMINISTRATION – NOAA) sugere que o comprimento máximo da saia das barreiras seja de $\frac{1}{4}$ da profundidade do corpo hídrico (NATIONAL OCEAN AND ATMOSPHERE ADMINISTRATION – NOAA, 2010). Oebius (1999) informa ainda, que barreiras com calado maior que 0,16m não acrescentam capacidade de retenção em águas calmas devido a drenagem da água. O mesmo autor informa que o calado das barreiras em águas calmas deve ter entre 0,03m a 0,16m.

Neste trabalho, propõe-se que a especificação do calado das barreiras considere a fórmula apresentada na equação 3-5.

Equação 3-5 – Cálculo do calado de barreiras para contenção em estuários.

$$C_B = C_r \times 0,2$$

Onde,

C_B = Calado das barreiras em metros, em valores maiores que 0,03m e inferiores a 0,16m; e

C_r = Calado do estuário na foz em metros.

Caso exista caracterização confiável a respeito da intensidade de ventos e correntes no estuário é possível definir o tipo de barreira a ser empregada. Ventos e correntes de maré fortes indicam a necessidade de barreiras tipo cortina. Águas calmas e com pequena intensidade de ventos permitem o uso de barreiras tipo cerca. Na inexistência destas informações deve-se optar por barreiras do tipo cortina (FINGAS, 2011). Robertson & Kumar (2008) *apud* Fingas (2011) apresentam os limites favoráveis, intermediários e desfavoráveis para uso de barreiras. Neste trabalho iremos considerar que os limites favoráveis permitem o uso de barreiras tipo cerca e tipo cortina e os limites intermediários permitem apenas o uso de barreiras tipo cortina. Quando caracterizados ventos médios com intensidade superior a 30 nós, sugere-se não considerar o dimensionamento de barreiras para os estuários. Os limites propostos por Robertson & Kumar (2008) *apud* Fingas (2011) estão apresentados na figura 3-31.

	Favorável (Barreiras tipo Cerca e tipo Cortina)	Intermediário (Barreiras tipo Cortina)	Desfavorável (contra indicado o uso de barreiras)
Intensidade de vento	< 21 nós	≤ 21 e < 30 nós	≤ 30 nós

Figura 3-31 – Limites de vento para operação com barreiras (adaptado de ROBERTSON & KUMAR, 2008 *apud* FINGAS, 2011).

Um plano de emergência ideal deve indicar o tipo, a quantidade e a forma de disponibilização de barreiras necessárias para atender a um cenário de pior caso. A seleção das barreiras também deve levar em consideração a durabilidade, a forma de estocagem e a forma de transporte (CHEREMISINOFF & DAVIETSHIN, 2011).

3.5.3. Barreiras para contenção e deflexão na foz do estuário

A quantidade de barreiras dimensionada para contenção gera resultados similares a quantidade de barreiras dimensionadas para a deflexão, já que estas, em última instância, devem ser dimensionadas para atravessar de uma margem a outra do rio.

No cálculo de dimensionamento de barreiras para contenção, considera-se o cruzamento do rio de uma margem a outra nas proximidades da foz e a formação de um semicírculo ou uma semi-elipse. Neste caso o cálculo poderia ser feito conforme a equação 3-6.

Equação 3-6 – Simplificação do cálculo de barreiras para contenção na foz do estuário.

$$B_c = L_r \times \pi$$

Onde,

B_c = Quantidade de barreiras de contenção em metros; e

L_r = Largura da foz do rio em metros

Esta equação é uma simplificação que não considera a influência da corrente na configuração da barreira.

A Resolução CONAMA nº398, de 12 de junho de 2008 apresenta uma forma de cálculo que considera a influência da corrente e a limitação de resistência e no manejo de barreiras com comprimentos elevados. Estabelece como critério de dimensionamento da quantidade mínima de barreiras para proteção de rios, canais e outros corpos hídricos um máximo de 350 metros ou o maior valor entre:

- Largura do corpo hídrico em metros multiplicada por 3,5; ou
- A largura do corpo hídrico em metros multiplicada pelo somatório da velocidade máxima da corrente em nós com o valor de 1,5.

No primeiro caso, o resultado do cálculo é bastante similar ao apresentado na equação 3-6, uma vez que o valor de π é bastante similar a constante 3,5 utilizada. A ExxonMobil (2008), em seu manual de campo sugere o mesmo cálculo, porém com o comprimento multiplicado por 3 ou 4. Neste trabalho será adotada a equação sugerida pela regulamentação brasileira. A equação 3-7 representa esta forma de cálculo da quantidade de barreiras.

Equação 3-7 – Cálculo de comprimento de barreiras para contenção em corpos hídricos segundo a CONAMA 398/08 considerando somente a largura dos corpos hídricos.

$$B_c = L_r \times 3,5$$

Onde,

B_c = Quantidade de barreiras de contenção em metros; e

L_r = Largura do corpo hídrico em metros.

O segundo caso é aplicável a rios com intensidades de corrente elevadas, em que a catenária da formação deve ser mais acentuada para evitar falhas na contenção oferecida pelas barreiras. A equação 3-8 apresenta a forma de cálculo utilizada neste caso.

Equação 3-8 – Cálculo de comprimento de barreiras para contenção em corpos hídricos segundo a CONAMA 398/08 considerando somente a largura dos corpos hídricos.

$$B_c = L_r \times (V_c + 1,5)$$

Onde,

B_c = Quantidade de barreiras de contenção em metros;

L_r = Largura do corpo hídrico em metros; e

V_c = Velocidade máxima da corrente em nós.

Em sistemas deltaicos, deve ser realizado um cálculo individual para cada canal que compõe o sistema.

O ângulo de disposição das barreiras para deflexão depende da intensidade da correnteza superficial (FINGAS, 2011). A influência da corrente na efetividade das barreiras foi alvo de estudos da CONCAVE (1990) apud OEBIUS (1999), que chegou a uma relação entre a corrente e o ângulo de disposição das barreiras. A figura 3-32 apresenta um quadro com as velocidades máximas de correnteza que os ângulos de disposição das barreiras conseguem suportar (FINGAS, 2011).

Ângulo em relação a direção da corrente (°)	Velocidade crítica (nós)
90	1
75	1
60	1,2
45	1,4
35	1,75
15	3,7

Figura 3-32 – Velocidades críticas de correnteza por ângulo de disposição das barreiras de deflexão (Adaptado de FINGAS, 2011).

Barreiras comuns não devem ser previstas barreiras para contenção em locais em que a correnteza superficial tem intensidade superior a 0,7 ou 1 nó, uma vez que esta é a velocidade crítica, acima da qual as barreiras comuns permitem a passagem do óleo. Nestes casos devem ser previstas barreiras especialmente adaptadas ou ser adotada unicamente a estratégia de deflexão (EXXONMOBIL, 2008; FINGAS, 2011).

Em locais em que ocorre variação da altura de maré, caso dos estuários, é necessário que as barreiras sejam instaladas prevendo esta oscilação, seja ajustando a posição da ancoragem seja com barreiras para selar a costa (DICKS *et al.*, 2000).

A quantidade de barreiras para selar a costa deve ser deduzida do inventário total de barreiras para contenção e deflexão. A quantidade deve ser suficiente para cobrir a distância representada pela seção transversal do rio sujeita a exposição durante a maré baixa. Como esta distância não costuma ser conhecida, recomenda-se que 1/3 das barreiras para contenção e deflexão sejam compostas por barreiras de interface.

3.5.4. Dimensionamento de barreiras para proteção de componentes de valor ambiental

Alguns componentes de valor ambiental permitem a instalação de um cerco completo ou parcial ao seu redor para a sua proteção, a depender da localização deste componente em relação a margem. Componentes de valor ambiental destacados das margens possibilitam o cerco completo. Componentes anexos às margens possibilitam o cerco parcial, protegendo somente as faces do componente que estão expostas ao corpo hídrico.

A identificação destes componentes é possível através da análise espacializada das Cartas de Sensibilidade Ambiental.

Citam-se como componentes de valor ambiental que podem ser protegidos através de cerco completo:

- Fazendas flutuantes de aquicultura;
- Deltas de maré; e
- Touceiras.

Citam-se como componentes de valor ambiental que podem ser protegidos através de cerco parcial:

- Manguezais;
- Marismas;
- Locais de extrativismo de madeira;
- Marinas;
- Estaleiros;
- Portos;
- Píeres; e
- Tomadas de água.

Em estuários com múltiplos canais, o dimensionamento deve ser previsto para os componentes localizados dentro de todos os canais, desde que estejam localizados dentro da zona de ingresso da água marinha em superfície.

O dimensionamento da quantidade de barreiras para cerco deve ser igual ao perímetro exposto destes componentes. Entretanto, cercos utilizando quantidades elevadas de barreiras, apesar de possíveis, tornam-se pouco práticos e ineficazes. Este trabalho considera o valor de 350 metros de comprimento como o limite de operacionalidade funcional de uma formação. Assim, o comprimento máximo de barreiras que poderão ser dimensionados para um componente de valor ambiental é igual a 350 metros. Caso este valor seja insuficiente para o cerco do componente, considera-se que esta quantidade de barreiras pode ser utilizada para realizar a deflexão do óleo

O dimensionamento das características (calado e tipo de barreira) deve levar em conta os mesmos preceitos descritos no dimensionamento de características de barreiras para contenção e deflexão.

O maior desafio deste tipo de proteção é a instalação de pontos de ancoragem que permitam a manutenção do cerco mesmo com as variações de maré.

Outro ponto importante na inclusão dos componentes de valor ambiental como elementos efetivamente vulneráveis ao vazamento de óleo é verificar se o componente localiza-se na área do estuário em que a água marinha adentra em superfície, conforme apresentado no item 3.5 deste trabalho.

Nos manguezais é importante levar em consideração a baixa resistência do substrato e a presença de raízes e pneumatóforos sensíveis a impactos mecânicos. As barreiras devem ser dispostas de forma a não danificar a estrutura destes solos e destas raízes (NATIONAL OCEAN AND ATMOSPHERE ADMINISTRATION – NOAA, 2010).

3.5.5. Dimensionamento de equipamentos acessórios

A operação com barreiras pode demandar o uso de embarcações, âncoras, bóias e outros materiais auxiliares (CHEREMISINOFF & DAVIETSHIN, 2011).

As âncoras tipo *Bruce*, *CQR* ou *Arado* são adequadas a substratos lamosos, as âncoras tipo *Danforth* são indicadas para substratos arenosos e âncoras tipo *Almirantado* ou *Fateixa dobrável* são adequadas para substratos rochosos (MARITIME AND COASTGUARD AGENCY – MCA, 1999; BARROS, 2006). Quanto maior a correnteza e o comprimento da barreira, maior quantidade de âncoras são necessárias. A quantidade de cabo depende da profundidade, sendo indicado o uso de 5 vezes (CHEREMISINOFF & DAVIETSHIN, 2011) a 3 vezes (OEBIUS, 1999) a profundidade em comprimento. Também é recomendável o uso de bóias de arinque para marcar a posição das âncoras e bóias para sustentar o cabo de amarração (MARITIME COASTGUARD AGENCY – MCA, 1999).

O ancoramento em terra pode demandar estacas, que devem ser previstas em inventário. A necessidade de estacas pode ser ainda maior quando o substrato for inconsolidado, onde o grande número de estacas pode distribuir a carga (*ibidem*).

A Guarda Costeira Americana sugere que pode ser instalada uma âncora a cada 15 metros de barreira e a presença de 2 a 3 metros de correntes entre as âncoras e o cabo, para manter as âncoras em posição correta (UNITED STATES COAST GUARD – USCG, 2001).

Como a instalação de barreiras nem sempre necessita de âncoras submersas, principalmente na proteção de componentes que não podem ser cercados e em algumas aplicações de proteção da foz, neste trabalho propõe-se que a quantidade de âncoras seja equivalente ao comprimento de barreiras dimensionado para proteção na foz do estuário ou o comprimento de barreiras para proteção de componentes que podem ser cercados, o que for maior, dividido por 15.

Uma quantidade equivalente de estacas deve ser prevista.

Quantidades adicionais de âncoras e estacas devem estar previstas nos estoques de *Tier 3*.

Outros equipamentos auxiliares de extrema importância são os cabos para manter as barreiras fixas nos sistemas de ancoramento. Para cada âncora dimensionada devem estar previstos cabos com 3 a 7 vezes a profundidade do local em comprimento, para águas calmas e agitadas, respectivamente (EXXONMOBIL, 2008). Recomenda-se que estes cabos não apresentem elevada elasticidade e tenham o menor diâmetro possível, para evitar que aumentem a tração no sistema causada pela correnteza (UNITED STATES COAST GUARD – USCG, 2001).

Também deve ser prevista a quantidade equivalente de âncoras em bóias de arinque. E para cada bóia de arinque, a quantidade equivalente a profundidade máxima do estuário.

Muito importante também é a adoção de barreiras que utilizem conectores compatíveis entre si (EXXONMOBIL, 2008).

3.5.6. Dimensionamento de Recursos Humanos e de Equipamentos de Proteção

O critério de dimensionamento de recursos humanos foi baseado nos resultados de entrevistas com profissionais experientados em respostas a vazamentos de óleo.

Todos os profissionais entrevistados consideram de suma importância uma avaliação prévia do estuário antes de definir a necessidade de recursos humanos. A

avaliação prévia possibilita identificar a intensidade dos ventos, a presença de obstáculos, o tipo de fundo, a presença de componentes de valor ambiental que devam ser protegidos, a largura do rio, a presença de canais, as facilidades de acesso, a profundidade, a presença de detritos, sedimentos e vegetação aquática, a identificação de possíveis áreas de sacrifício, as condições meteorológicas e por último, e mais importante fator segundo todos os entrevistados, a intensidade da corrente.

Alguns destes fatores influenciam na quantidade de pessoas que deverão compor as equipes de resposta. Outros fatores influenciam na complexidade da operação, o que determina o grau de capacitação necessário aos recursos humanos envolvidos.

Os tipos de profissionais envolvidos na resposta podem ser divididos em categorias distintas:

- **Profissionais com elevada capacitação em respostas a vazamentos** – Com conhecimento profundo na sensibilidade ambiental, na operação dos equipamentos, em liderança, comunicação e primeiros-socorros;
- **Profissionais com capacitação básica em resposta a vazamentos** – Com conhecimento básico na operação dos equipamentos, conhecimentos básicos de marinharia e primeiros-socorros;
- **Profissionais de apoio e logística** – Responsáveis pela recepção de equipamentos e recursos, pelo provimento de alimentação, higiene ocupacional, segurança, facilidades de comunicação, gerenciamento de resíduos, comunicação com a imprensa, comunicação com a comunidade, atendimento médico e etc. Não serão considerados no critério de dimensionamento deste trabalho por serem recursos de apoio, mobilizados conforme o cenário acidental efetivo; e
- **Mão de obra local** – Com pouca capacitação, porém com conhecimento das características do local. Não serão considerados no critério de dimensionamento deste trabalho por serem um recurso adicional a primeira resposta, porém recomenda-se um cadastramento prévio desta dos recursos humanos que poderão compor esta mão de obra.

O número de profissionais envolvidos depende da quantidade de frentes de trabalho e do comprimento máximo de barreiras que será manipulado, variando de três a quinze profissionais, compostos por profissionais com capacitação avançada e básica em resposta a vazamentos.

A quantidade de frentes de trabalho pode ser identificada em idas a campo ou através da análise das Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo. O comprimento máximo de barreiras manipuladas pode ser estimado pelos critérios de dimensionamento propostos anteriormente neste trabalho.

A figura 3-33 apresenta uma matriz com o número mínimo de profissionais por comprimento máximo de barreiras manipulada por frente de trabalho e quantidade de frentes de trabalho.

Comp. máx. de barreiras manipuladas por frente de trabalho	Até 150 metros	> 150 metros
	Número de frentes de trabalho	
Até 2 frentes de trabalho	3 profissionais	6 profissionais
Entre 3 e 6 frentes de trabalho	6 profissionais	9 profissionais
Entre 7 e 12 frentes de trabalho	9 profissionais	12 profissionais
13 ou mais frentes de trabalho	12 profissionais	15 profissionais

Figura 3-33 – Matriz com a quantidade mínima de recursos humanos em função do número de frentes de trabalho e do comprimento máximo de barreiras manipuladas em uma frente de trabalho.

Para cada dois profissionais com baixa capacitação é necessária, ao menos, a presença de um profissional com elevada capacitação. Desta forma quando forem necessários três profissionais, ao menos um deverá ter elevada capacitação; quando forem necessários seis profissionais, ao menos dois deverão ter elevada capacitação, e assim por diante.

A presença de obstáculos no leito do rio, a presença de detritos e vegetação aquática flutuante e elevadas intensidades de corrente aumentam a complexidade da operação e demandam um treinamento avançado no uso de equipamentos de resposta e marinharia. Desta forma, ao menos metade da força de trabalho envolvida, arredondada para cima, deve ter elevada capacitação. A identificação

destes fatores que aumentam a complexidade da operação somente é possível com observações *in loco*. Caso não seja possível realizar observações em campo, recomenda-se que seja considerado um ambiente com elevada complexidade.

O quadro apresentado na figura 3-34 sumariza a proporção de capacitação por quantidade de força de trabalho, em situações complexas e não complexas.

Quantidade de recursos humanos	Em situações complexas		Em situações não complexas	
	Alta capacitação	Baixa capacitação	Alta capacitação	Baixa capacitação
3	2	1	1	2
6	3	3	2	4
9	5	4	3	6
12	6	6	4	8
15	8	7	5	10

Figura 3-34 – Proporção de pessoal com elevada e baixa capacitação em função da complexidade das operações.

3.6. SUMARIZAÇÃO DO CRITÉRIO DE DIMENSIONAMENTO

De forma a facilitar a aplicação do critério de dimensionamento proposto neste trabalho segue um procedimento sequencial da aplicação do critério de dimensionamento.

3.6.1. Definição de distância máxima entre o inventário e o estuário

A distância máxima entre o inventário e o estuário depende do tempo entre o acionamento dos recursos e a instalação destes recursos no estuário, considerando a velocidade média de deslocamento dos recursos, as características da prontidão das equipes e o tempo mínimo de chegada do óleo no estuário.

O tempo de resposta deverá ser menor ou igual ao tempo mínimo de chegada de óleo no estuário, indicado pela análise de vulnerabilidade, conforme equação 3-9.

Equação 3-9 – Definição do tempo de resposta para o estuário fictício.

$$T_r \leq T_t$$

Onde,

T_r = Tempo de resposta

T_t = Tempo de mínimo de toque de óleo no estuário

O tempo de resposta, a velocidade média de deslocamento dos recursos, o tempo estimado de mobilização e de instalação de recursos devem ser aplicados na equação 3-10 para determinar a distância máxima entre o estuário e inventário.

Equação 3-10 – Distância máxima entre o inventário e o estuário.

$$D = V_d \times [T_r - (T_m + T_i)]$$

Onde,

D = Distância entre o inventário e o estuário

V_d = Velocidade média de deslocamento

T_r = Tempo de resposta

T_m = Tempo de mobilização

T_i = Tempo de instalação

3.6.2. Definição da especificação das barreiras

A intensidade média nos ventos esperada no estuário define qual tipo de barreiras pode ser utilizado. O empreendedor deve estudos climatológicos e comparar com os valores apresentados no quadro 3-35 para definir qual tipo de barreira pode ser utilizada no estuário.

	Favorável (Barreiras tipo Cerca e tipo Cortina)	Intermediário (Barreiras tipo Cortina)	Desfavorável (contra indicado o uso de barreiras)
Intensidade de vento	< 21 nós	≤ 21 e < 30 nós	≤ 30 nós

Figura 3-35 – Definição do tipo de barreiras em função da intensidade média de ventos.

O calado do corpo d'água determina o tamanho máximo da saia das barreiras que poderão ser utilizadas, indo de um mínimo de 0,03 metros à um máximo de 0,16 metros. O calado deverá ser medido na foz do rio, com base em cartas náuticas ou medições locais.

O tamanho da saia das barreiras é obtido pela equação 3-11.

Equação 3-11 – Cálculo do tamanho da saia das barreiras.

$$C_B = C_r \times 0,2$$

Onde,

C_B = Calado das barreiras em metros, em valores maiores que 0,03m e inferiores a 0,16m; e

C_r = Calado do estuário na foz, em metros.

3.6.3. Cálculo da quantidade de barreiras para deflexão e proteção na foz

O cálculo da quantidade de barreiras para a proteção ou deflexão na foz deve considerar a quantidade máxima de barreiras manejáveis, e a intensidade da corrente.

O dimensionamento da quantidade mínima de barreiras para proteção ou deflexão em estuários deve ser um máximo de 350 metros ou o maior valor entre:

- Largura do estuário na foz em metros multiplicada por 3,5; ou
- A largura do estuário na foz em metros multiplicada pelo somatório da velocidade máxima da corrente de enchente em nós com o valor de 1,5.

No caso de estuários com múltiplas fozes, o cálculo deve ser repetido para cada uma das fozes.

Deste total de barreiras, 1/3 deverá ser composto por barreiras de interface.

3.6.4. Cálculo da quantidade de barreiras para proteção de componentes de valor ambiental

Devem ser identificados na carta de Sensibilidade Ambiental ao Óleo do estuário os componentes de valor ambiental que estejam a jusante do limite mais a montante da onde se encontram manguezais.

A quantidade de barreiras deve ser igual ao somatório do perímetro exposto destes componentes ou o máximo de 350 metros por componente.

Em estuários sem manguezais, deve-se definir o limite máximo de ingresso da água marítima em superfície com base em justificativa técnica.

3.6.5. Dimensionamento de equipamentos acessórios

O tipo de âncora utilizada deve ser compatível com o substrato existente no estuário, conforme quadro apresentado na figura 3-36.

Substrato	Tipo de âncora
Lamoso	Bruce
Lamoso	CQR ou Arado
Arenoso	Danforth
Rochoso	Almirantado
Rochoso	Fateixa dobrável

Figura 3-36 – Tipo de âncora apropriada para cada tipo de substrato.

A quantidade de âncoras deve ser equivalente ao comprimento de barreiras dimensionado para proteção na foz do estuário ou o comprimento de barreiras para proteção de componentes que podem ser cercados, o que for maior, dividido por 15.

Uma quantidade equivalente de estacas e de bóias de arinque deve ser prevista.

Para cada âncora deve ser prevista uma quantidade de cabo em metros equivalente a profundidade do estuário multiplicada por 7.

Também deve ser prevista uma quantidade de cabo por âncora equivalente a profundidade do estuário em metros, para a amarração das bóias de arinque.

3.6.6. Dimensionamento de recursos humanos

Para dimensionar o número de recursos humanos necessários para executar as ações de proteção em estuários devem ser avaliadas quantas frentes operacionais serão estabelecidas. Esta avaliação deve ser realizada pela análise da carta SAO.

Uma vez definidas quantas frentes de trabalho serão estabelecidas, deve-se verificar qual o comprimento de barreiras que serão manipuladas em cada frente de trabalho. Estas quantidades de barreiras devem ser definidas conforme os critérios apresentados anteriormente neste trabalho.

Estas duas informações devem ser comparadas com a matriz apresentada na figura 3-37 para definir o número mínimo de recursos humanos necessários.

Comp. máx. de barreiras manipuladas por frente de trabalho	Até 150 metros	> 150 metros
	Número de frentes de trabalho	
Até 2 frentes de trabalho	3 profissionais	6 profissionais
Entre 3 e 6 frentes de trabalho	6 profissionais	9 profissionais
Entre 7 e 12 frentes de trabalho	9 profissionais	12 profissionais
13 ou mais frentes de trabalho	12 profissionais	15 profissionais

Figura 3-37 – Matriz com a quantidade mínima de recursos humanos em função do número de frentes de trabalho e do comprimento máximo de barreiras manipuladas em uma frente de trabalho.

Caso possível, uma observação *in loco* do estuário deve ser realizada para verificar a presença de obstáculos no leito do rio, a presença de detritos e vegetação aquática flutuante e elevadas intensidades de corrente. A identificação de qualquer um destes elementos configura o estuário como de alta complexidade para as operações de resposta, demandando maior proporção de pessoal com capacitação mais sólida. O quadro apresentado na figura 3-38 sumariza a proporção de capacitação por quantidade de força de trabalho, em situações complexas e não complexas.

Quantidade de recursos humanos	Em situações complexas		Em situações não complexas	
	Alta capacitação	Baixa capacitação	Alta capacitação	Baixa capacitação
3	2	1	1	2
6	3	3	2	4
9	5	4	3	6
12	6	6	4	8
15	8	7	5	10

Figura 3-38 – Proporção de pessoal com elevada e baixa capacitação em função da complexidade das operações.

Por profissionais com elevada capacitação em respostas a vazamentos entende-se profissionais com conhecimento profundo na sensibilidade ambiental, na operação dos equipamentos, em liderança, comunicação e primeiros-socorros. Por profissionais com capacitação básica em resposta a vazamentos entende-se profissionais com conhecimento básico na operação dos equipamentos, conhecimentos básicos de marinharia e primeiros-socorros.

4. APLICAÇÃO EM ESTUÁRIO REAL

Os conceitos de dimensionamento de barreiras propostos neste trabalho foram aplicados no estuário do rio Vaza-Barris, em Sergipe. A quantidade e especificações das barreiras, recursos acessórios e recursos humanos sugeridas pelos critérios de dimensionamento foram comparados com o total de recursos utilizados em um exercício simulado ou com o inventário existente para atendimento a este estuário. As informações sobre os atendimentos foram obtidas no relatório oficial e no plano de emergência encaminhados pela empresa responsável ao Órgão Ambiental competente.

4.1. ESTUÁRIO DO RIO VAZA-BARRIS

O estuário do rio Vaza-Barris localiza-se na divisa entre os municípios de São Cristóvão, Itaporanga d'Ajuda e Aracajú, no estado de Sergipe. A figura 4-1 apresenta um mapa do estuário do rio Vaza-Barris. A figura 4-2 apresenta uma fotografia da foz do estuário do rio Vaza-Barris.

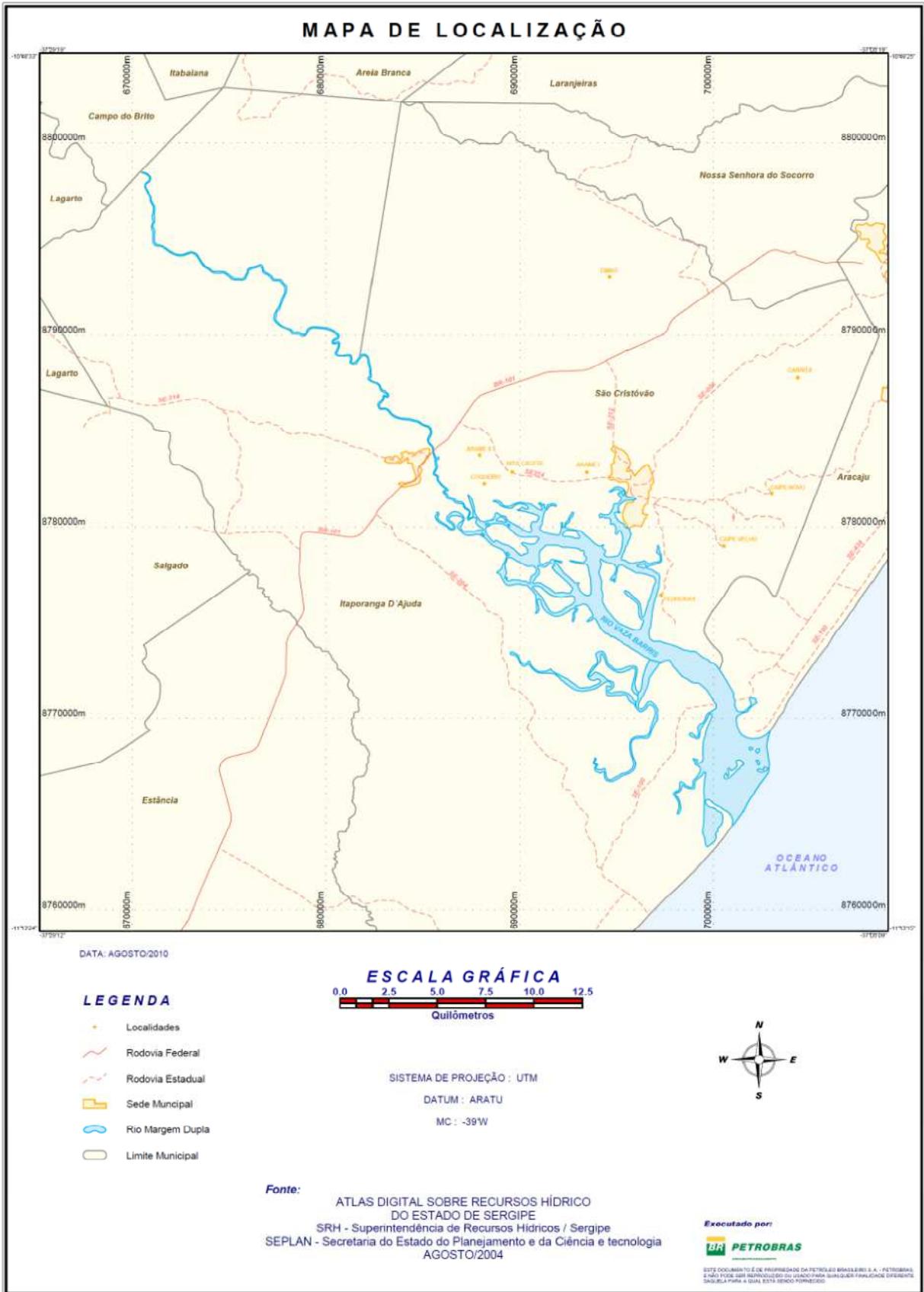


Figura 4-1 – Mapa do estuário do rio Vaza-Barris (Fonte: PETROBRAS, 2011a).



Figura 4-2 – Foto da foz do rio Vaza-Barris (Fonte: PETROBRAS, 2011a).

O rio Vaza-Barris serve como área de pesca, aquicultura, dessedentação de animais e área de lazer, além de apresentar praias e manguezais às suas margens. Seus principais afluentes na zona da foz são os rios Paramopama, Tejupeba, Pedras, Traíás Jacoca e Lomba (SERGIPE, 2009).

Na sua foz, o rio possui aproximadamente 4,5 km de largura. As velocidades da corrente variam entre 0,7 a 2,0 nós (PETROBRAS, 2011a). A profundidade na foz varia de 2 a 3 m.

São identificados mais de 103 km de linha de manguezal neste estuário, além de atividade de aquicultura associada às franjas do manguezal. A carta SAO permitiu identificar 11 canais afluentes dentro da área de manguezal. Estes canais possuem larguras variáveis, listadas abaixo.

- 0,76km;
- 0,5km;
- 0,85km;
- 0,9km;
- 0,37km;
- 0,7km;
- 1,61km;
- 1,1km;
- 1,2km;
- 0,2km; e
- 0,15km.

O mapa de sensibilidade do estuário do rio Vaza-Barris segue apresentado na figura 4-3.

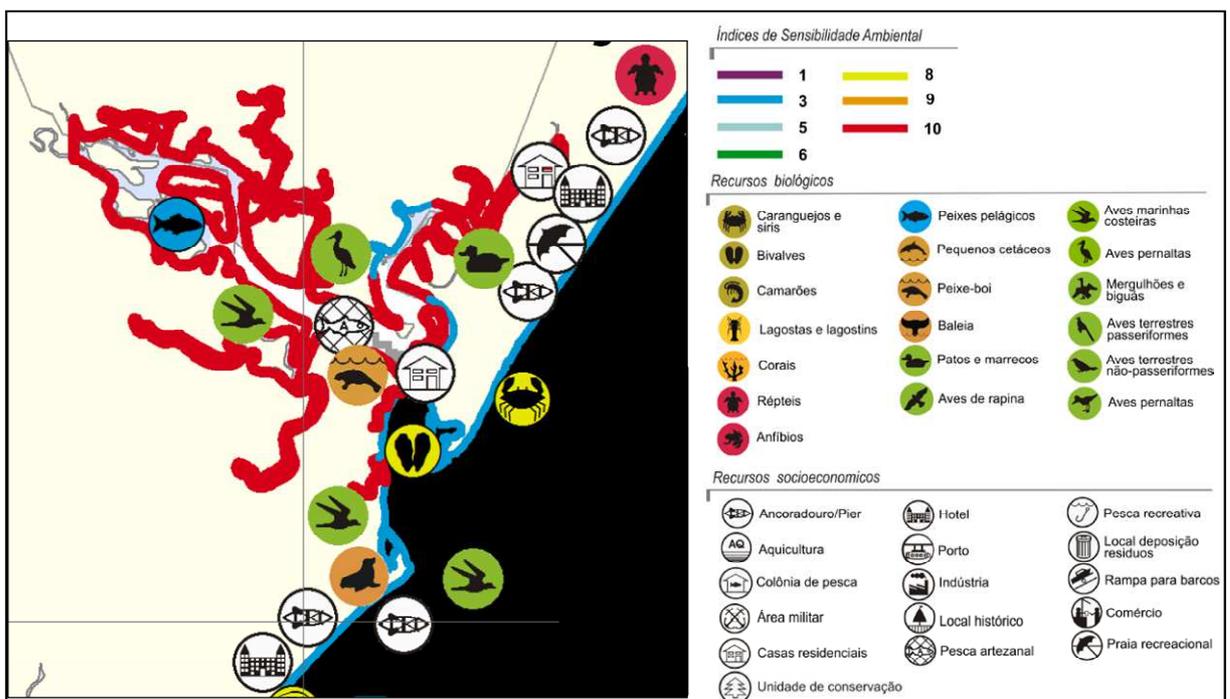


Figura 4-3 – Detalhe da carta de sensibilidade litorânea ao óleo com ênfase no estuário do rio Vaza-Barris (Adaptado de: PETROBRAS, 2011a).

4.1.1. Descrição do empreendimento

O empreendimento que apresenta possibilidade de contaminação do estuário do rio Vaza-Barris corresponde às atividades de perfuração e produção de óleo nas unidades marítimas que operam nos Campos de Camorim, Dourado, Caioba e Guaricema realizadas pela Petrobras, na bacia de Sergipe-Alagoas (PETROBRAS, 2011a).

A atividade de produção é realizada com unidades marítimas fixas do tipo Jaqueta e transportadas por dutos ou por navios aliviadores. A atividade de perfuração é realizada com Sondas Semi Submersíveis (SS), Sondas Auto Elevatórias (SAE), Sondas Moduladas (SM), Sondas de Produção Moduladas (SPM) e Navios Sonda (NS) (*ibidem*). A figura 4-4 apresenta um mapa com a localização das plataformas e do estuário do rio Vaza-Barris.

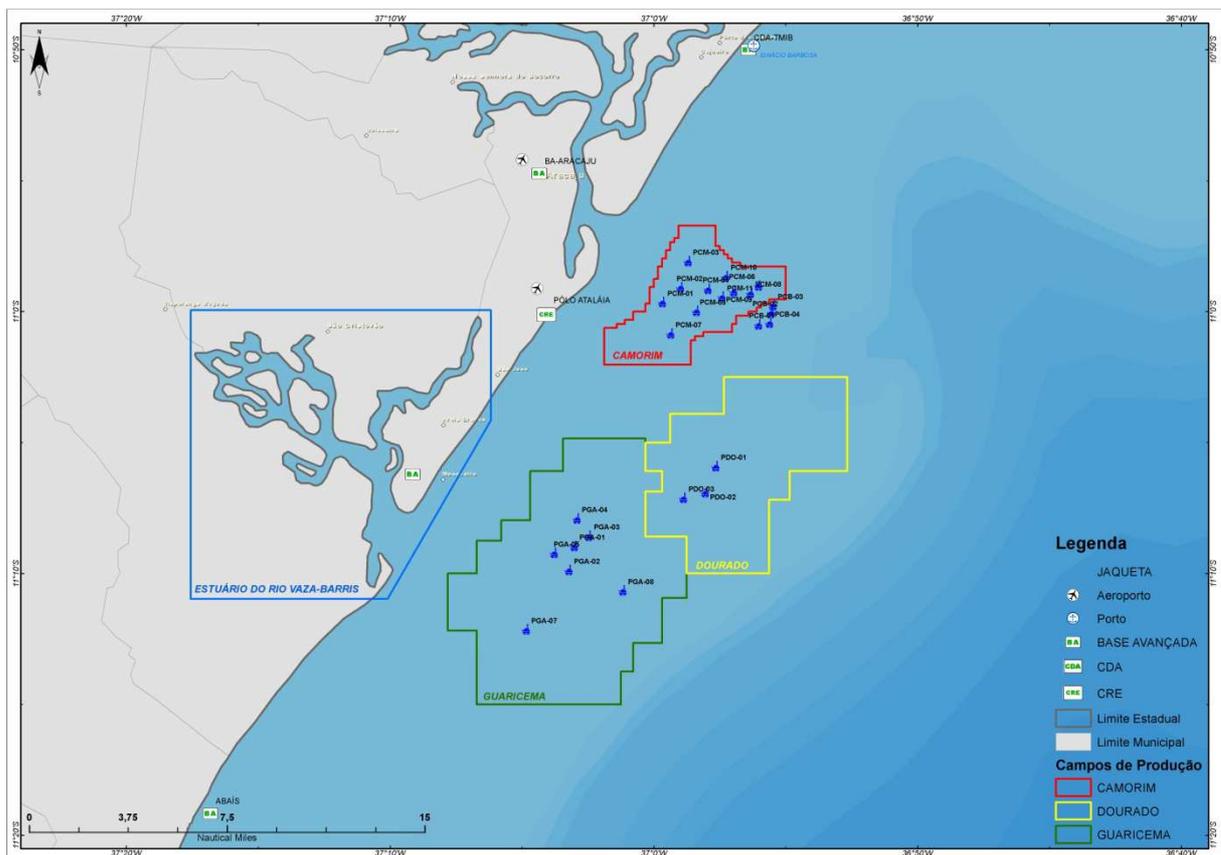


Figura 4-4 – Localização das plataformas e do estuário do rio Vaza-Barris.

Os resultados da análise de risco deste empreendimento indicaram a probabilidade de ocorrerem vazamentos de até 7.500 m³ de óleo correspondentes a perda de controle do poço de maior vazão por 30 dias, conforme preconiza a Resolução CONAMA n°398 de junho de 2008. O poço referência é o GA-64, com vazão estimada de 250m³/dia, localizado no campo de Guaricema.

Os resultados da modelagem probabilística de comportamento do óleo vazado indicam possibilidade de óleo chegar ao estuário do rio Vaza-Barris com probabilidade superior a 70% e com tempo de toque inferior a 5 horas. A figura 4-5 apresenta o mapa de vulnerabilidade das atividades nos campos de Camorim, Dourado e Guaricema.

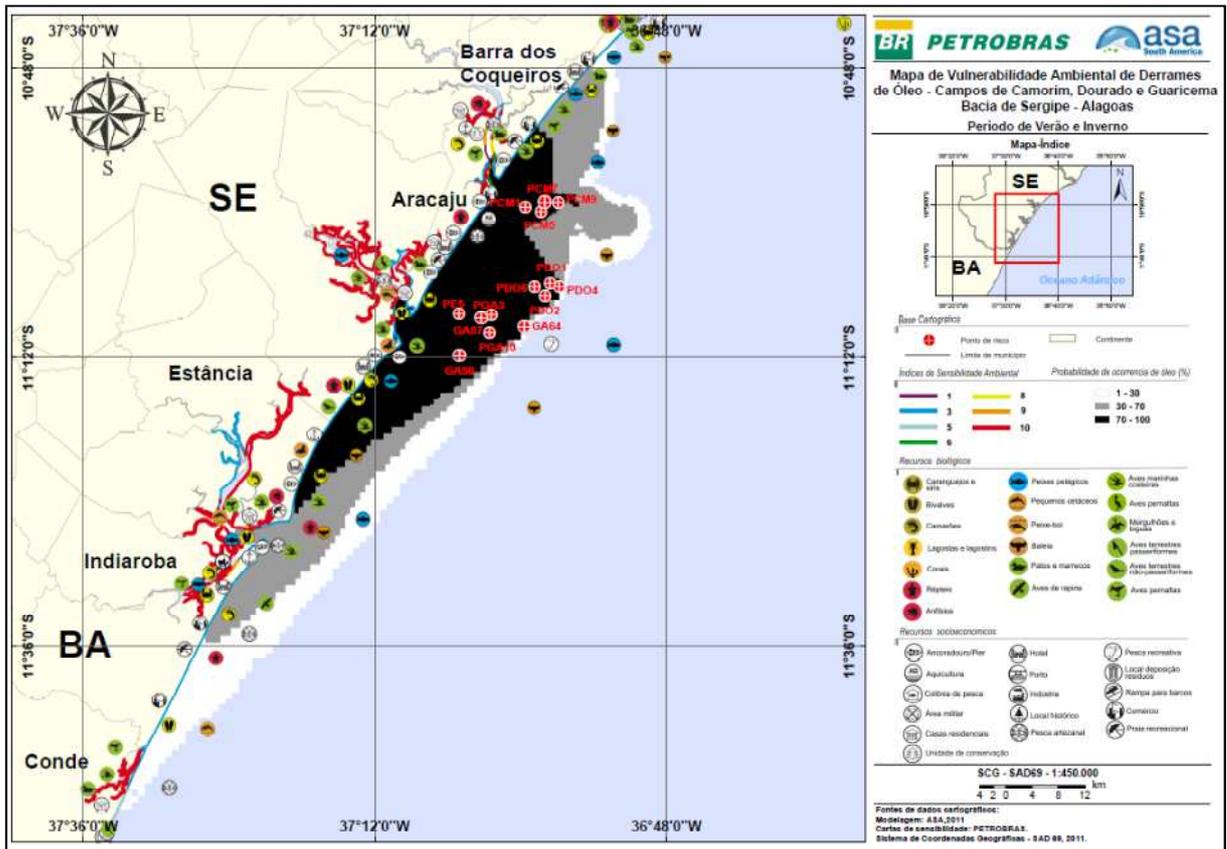


Figura 4-5 – Mapa de vulnerabilidade ambiental de derrames de óleo oriundos das atividades nos campos de Camorim, Dourado e Guaricema (Fonte: PETROBRAS, 2011a).

Para atendimento aos cenários de vazamento de óleo que possam atingir a costa, a Petrobras possui 8 instalações localizadas estrategicamente e dotadas de equipamentos e recursos humanos para a resposta. A localização das bases em relação ao estuário do rio Vaza-Barris está apresentada no mapa da figura 4-6.

4.1.2. Descrição do incidente

Segundo o Relatório do Exercício Simulado do PEI – Nível 3: Campos de Dourado e Guaricema (PETROBRAS, 2011b), no dia 25/10/2011, às 04:00, foi iniciado o exercício simulado com uma ligação dos técnicos do IBAMA que acompanharam o exercício. Foi informado o vazamento de óleo pelo duto entre as plataformas de Guaricema-3 (PGA-3) e a Estação do Pólo de Atalaia, que estava se deslocando para o rio Vaza-Barris.

Foi definida a realização de deflexão do óleo na foz e a proteção dos manguezais com barreiras absorventes.

O acionamento das equipes de resposta na área costeira ocorreu às 04:12. Às 06:40 as barreiras já haviam sido descarregadas e seria dado início a deflexão na foz. Após 5 horas e 06 minutos do início do vazamento simulado, às 09:06 a deflexão estava completamente realizada. A figura 4-7 apresenta uma foto da instalação das barreiras de interface durante o exercício simulado.



Figura 4-7 – Foto da instalação das barreiras de deflexão no rio Vaza-Barris durante o exercício simulado do dia 25/10/2011 (Fonte: PETROBRAS, 2011b).

O relatório do exercício simulado não indica a quantidade de barreiras que foram utilizadas, nem a quantidade de recursos humanos.

4.1.3. Aplicação dos critérios de dimensionamento

Infelizmente, nem todas as informações necessárias para a aplicação dos critérios de dimensionamento de barreiras estão disponíveis.

Para definir a distância máxima dos recursos de resposta são necessárias as informações apresentadas no quadro da figura 4-8.

Parâmetros	Valores para o estuário do Vaza-Barris
Tempo mínimo de toque na costa	5 horas
Tempo de mobilização de recursos	2 horas
Tempo de instalação de recursos	1 hora*
Velocidade de deslocamento	4 nós

* Na ausência de informação medida do tempo de instalação de barreiras pelo empreendedor, foi estimado o tempo para fins de cálculo.

Figura 4-8 – Quadro com os parâmetros necessários para o cálculo da máxima distância do inventário de recursos.

A distância máxima do inventário é obtida pela aplicação da equação 4-1.

Equação 4-1 – Distância máxima entre o inventário e o estuário do rio Vaza-Barris.

$$D = V_d \times [T_r - (T_m + T_i)]$$

Onde,

D = Distância entre o inventário e o estuário

V_d = Velocidade média de deslocamento (4 nós)

T_r = Tempo de resposta (5 horas)

T_m = Tempo de mobilização (2 horas)

T_i = Tempo de instalação (1 hora)

Resultando numa distância máxima de 8 milhas náuticas ou 14,8 km.

O tamanho máximo da saia das barreiras é definido com base na equação 4-2 e depende do calado máximo do rio na foz. No caso do rio Vaza-Barris, a maior profundidade encontrada na foz é igual a 3 metros

Equação 4-2 – Cálculo da saia das barreiras no estuário do rio Vaza-Barris.

$$C_B = C_r \times 0,2$$

Onde,

C_B = Calado das barreiras em metros, em valores maiores que 0,03m e inferiores a 0,16m; e

C_r = Calado do estuário na foz em metros (3 metros).

Aplicando a equação, tem-se que o calado máximo das barreiras no estuário é igual a 0,16 metros.

O tipo de barreiras que deve compor o inventário de equipamentos disponíveis depende da intensidade média dos ventos do local. Como não existem medições da intensidade média dos ventos, o tipo de barreira deve ser adequado as condições mais severas, no caso, barreiras do tipo cortina.

A definição da quantidade de barreiras para proteção ou deflexão na foz é o máximo de 350 metros ou o maior valor entre:

- Largura do estuário na foz em metros multiplicada por 3,5; ou
- A largura do estuário na foz em metros multiplicada pelo somatório da velocidade máxima da corrente de enchente em nós com o valor de 1,5.

Como o rio Vaza-Barris tem a largura de 4,5 km na foz e a sua intensidade de corrente varia de 0,7 a 2 nós, a quantidade de barreiras é o valor máximo de 350 metros, dos quais 1/3, ou 120 metros deve ser composto por barreiras de interface.

Não existem desembocaduras adicionais no estuário do rio Vaza-Barris, de forma que não é necessário repetir este cálculo para outras fozes.

A análise da carta de sensibilidade ambiental do estuário do rio Vaza-Barris identificou os seguintes componentes de valor ambiental:

- Manguezais
 - Mais de 103 km de extensão;
- 11 canais de afluentes;
 - 9 canais com mais de 350 metros de largura;
 - 1 canal com 200 metros de largura; e
 - 1 canal com 150 metros de largura.
- Atividade de Aquicultura associadas às franjas dos manguezais (CARVALHO & FONTES, 2006).

Para a proteção dos manguezais, dada a sua extensão serão necessários 350 metros de barreiras.

Para a proteção das desembocaduras de afluentes foi feito o somatório das suas larguras, considerando um máximo de 350 metros por desembocadura, resultando em 3.500 metros.

O total de barreiras para proteção de componentes de valor ambiental é igual a 3.850 metros. Somando-se a quantidade de barreiras para a proteção na foz (235 metros, ou 2/3 de 350 metros) o total de barreiras do tipo cortina seria igual a 4.085 metros.

Para esta quantidade de barreiras são necessárias uma quantidade de âncoras equivalente a ao maior comprimento do conjunto de barreiras (350 metros) dividido por 15, resultando num total de 24 âncoras. A mesma quantidade de estacas e de bóias de arinque deve estar prevista.

É necessária uma quantidade de cabos para amarração das âncoras equivalente ao número de âncoras (24) multiplicado pela profundidade em metros (2) e multiplicado pelo fator 7, num total de 336 metros de cabos.

Uma quantidade de cabos para amarração das bóias de arinque equivalente a multiplicação da quantidade de âncoras (24) pela profundidade em metros (2) também é necessária, resultando em 48 metros de cabo.

O total de cabos, somando a quantidade de cabos para ancoragem e para amarração de bóias de arinque é igual a 384 metros.

Para dimensionamento dos recursos humanos é necessário quantificar as frentes operacionais, o maior comprimento de barreiras utilizado nas frentes operacionais e categorizar a complexidade das operações no estuário.

Foram identificadas 14 frentes operacionais (proteção na foz, proteção nos 11 canais e proteção dos manguezais em ambas as margens). A proteção da foz demanda 350 metros de barreiras, ultrapassando o valor de 150 metros. Desta forma, utilizando a matriz da figura 3-17, seriam necessários 15 profissionais capacitados nas operações de recolhimento de óleo, no mínimo.

As informações sobre a complexidade das operações de resposta não foram obtidas pela avaliação *in loco*, demandando o grau de capacitação mais restritivo, *pro natura*. Assim, dos 15 profissionais requeridos, ao menos 8 devem possuir elevada capacitação em respostas a vazamentos.

Independente da quantidade de recursos humanos capacitados, recomenda-se o cadastramento de mão de obra local para amplificação da capacidade de resposta em um segundo momento.

4.1.4. Comparação entre os recursos utilizados no incidente com os recursos dimensionados

Como as informações disponibilizadas no relatório do exercício simulado não contemplam as quantidades e especificações dos recursos utilizados, serão utilizados para fins de comparação, as características e quantidades de recursos existentes nos inventários das instalações utilizadas para a resposta no estuário do Vaza-Barris. A comparação está sumarizada no quadro apresentado na figura 4-9.

Parâmetro	Existente nas instalações	Necessário segundo a proposta de dimensionamento	Observação
Distância entre o estuário e o inventário	Inexistente – Base de Mosqueiro; 7,8 Mn – CRE de Atalaia	8 milhas náuticas	A Base de Mosqueiro localiza-se no estuário do Vaza-Barris
Tamanho da saia das barreiras	Não informado	0,16 metros	-
Tipo de barreira indicada	Tipo Cerca e tipo Cortina	Tipo Cortina	Na inexistência de informações sobre a intensidade média de ventos recomenda-se o uso de barreiras tipo Cortina
Total de barreiras (exceto barreiras de interface)	3.650 metros	4.085 metros	-
Total de barreiras de interface	160 metros	120 metros	-
Quantidade de âncoras/bóias de arinque/estacas	Não informado	24	-
Quantidade de cabos	Não informado	384 metros	-
Tipo de âncora	Não informado	Não aplicável	Não foram encontrados dados sobre o tipo de fundo do estuário
Quantidade mínima de recursos humanos envolvidos	Não informado	15	-
Quantidade mínima de recursos humanos com alta capacitação em resposta a vazamentos	Não informado	8	-

Figura 4-9 – Comparação entre as características e quantidades de recursos para resposta existentes e os dimensionados.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O dimensionamento de recursos para resposta a vazamentos é um tema amplo e tratado de forma dispersa e pouco objetiva na literatura. Em alguns casos, como no dimensionamento de recursos humanos, as referências chegam a ser nulas. Este trabalho compilou as informações de parte da literatura especializada e das opiniões de profissionais experimentados, chegando a uma proposta de dimensionamento factível de aplicação prática.

Toda a literatura indica que a preparação para a resposta deva ser baseada na análise de risco dos empreendimentos. Nesta proposta, o dimensionamento considera a análise de risco e os cenários acidentais que possibilitam o vazamento de óleo para os corpos hídricos.

Além disso, a proposta vai um pouco além. Considera também a modelagem probabilística do comportamento do óleo vazado para os corpos hídricos. Hoje, as ferramentas de modelagem de comportamento do óleo apresentam-se bastante desenvolvidas, tendo sofrido a validação na prática. Da mesma forma os modelos hidrodinâmicos e atmosféricos estão em contínuo desenvolvimento, permitindo uma representação cada vez mais fiel da realidade. Assim sendo, o uso desta ferramenta é válido para o dimensionamento de recursos.

Outro aspecto do dimensionamento de recursos bastante consagrado na literatura é a identificação de parâmetros ambientais que influenciem no dimensionamento. Neste trabalho foram considerados parâmetros físicos, morfodinâmicos, ecossistêmicos, sociais e econômicos. Todos estes parâmetros influenciaram de forma lógica o dimensionamento das barreiras. Os parâmetros sócio-ambientais sensíveis ao óleo receberam a nomenclatura de Componentes de Valor Ambiental, inspirada na metodologia de análise quantitativa de riscos ambientais adotada atualmente pelos órgãos licenciadores. O objetivo deste alinhamento foi facilitar a integração desta proposta com a filosofia de estudos ambientais atualmente em voga.

Cada parâmetro físico, morfodinâmico e os componentes de valor ambiental dos estuários foram identificados e classificados conforme a maneira em que seriam considerados no dimensionamento. Este conceito é completamente aplicável a outros ambientes, carecendo somente de uma análise dos parâmetros e componentes existentes no ambiente em questão.

Todos os conceitos utilizados acima (análise de risco, modelagem de comportamento do óleo e identificação de parâmetros físicos, morfodinâmicos e sócio-ambientais) podem ser extrapolados para outras técnicas de resposta, como o recolhimento por *skimmers* e por material absorvente, bastando para isso à identificação de quais parâmetros nestas técnicas são influenciadas pelos componentes sócio-ambientais e pelo comportamento do óleo vazado.

A pesquisa de referencial executada não obteve sucesso em obter critérios ou indicativos para o dimensionamento dos recursos humanos necessários para a resposta a vazamentos de óleo. Desta forma, foi necessário coletar informações, orientações e impressões com profissionais experientes. Apesar do baixo número de profissionais entrevistados, as opiniões de todos convergiam para um conceito comum, o que leva a crer que o esforço de entrevistas foi, de certo modo, representativo.

O critério de dimensionamento de recursos humanos ainda é bastante preliminar, carecendo de intensa avaliação na prática e possivelmente, de novas revisões oriundas destas avaliações. Maior esforço de entrevista poderia ser realizado, para dirimir quaisquer questionamentos relativos a representatividade de opiniões.

A abordagem britânica de desenvolvimento de planos de uso de barreiras para estuários também pode ser utilizada como um refinamento ou validação do dimensionamento, uma vez que é baseada numa análise mais detalhada do ambiente, inclusive com visitas técnicas aos ambientes em que será desenvolvido o plano. Porém, pelo esforço demandado para a elaboração destes planos versus a quantidade imensa de estuários vulneráveis aos empreendimentos de perfuração e produção de óleo no mar territorial brasileiro ou mesmo ao transporte marítimo de óleo e derivados, a aplicação desta técnica se torna pouco viável, em curto prazo, para a totalidade dos estuários brasileiros vulneráveis ao óleo.

A extrapolação dos conceitos deste trabalho para outros ambientes brasileiros especialmente sensíveis e sujeitos a contaminação por óleo é uma das principais recomendações deste trabalho. Outra recomendação é a extrapolação destes conceitos para outros equipamentos e técnicas de resposta.

Quando todas essas extrapolações forem efetivadas e validadas, grande parte da subjetividade no dimensionamento de recursos terá sido eliminada tanto por parte do empreendedor, que finalmente poderá precificar, com certo grau de precisão, o custo da sua estrutura de resposta a vazamentos de óleo, quanto por parte dos órgãos licenciadores que poderão se fiar em um critério objetivo para aprovar as estruturas de resposta propostas pelos empreendedores interessados em desenvolver atividades no ramo de petróleo.

A aplicação desta proposta em um estuário real esbarrou na insuficiência de informações básicas tais como o tipo de fundo. A baixa resolução da carta de sensibilidade ambiental disponível também foi um fator que dificulta a aplicação criteriosa da proposta.

Na prática, para a aplicação da técnica, seria necessária ao menos uma visita técnica ao local em que será feito o dimensionamento de recursos. Essa visita deve ter como objetivo preencher as lacunas de informação existentes no referencial, além de confirmar as informações existentes.

Uma dificuldade encontrada na validação da proposta foi a falta de informações detalhadas a respeito das características e quantidades dos recursos utilizados, seja em exercícios simulados, seja em incidentes reais, que felizmente são bastante escassos. Recomenda-se que os relatórios destes atendimentos contemplem informações mínimas a respeito da capacidade dos recursos utilizados e das quantidades. O registro sistemático destas informações abriria espaço para a proposição de critérios e para a validação e revisão dos critérios existentes.

É necessário também, prosseguir com o esforço de mapeamento de sensibilidade da área litorânea. O Governo brasileiro vem mantendo esta iniciativa, e em breve o país poderá contar com toda sua costa mapeada em uma escala pequena. O esforço deverá ser mantido para garantir a atualização das informações e para refinar a escala de mapeamento. Não é excessivo recordar a importância das informações contidas nas cartas de sensibilidade ambiental ao óleo para o balizamento das decisões de empreendedores e órgãos licenciadores. Além disso, as informações ali contidas são essenciais para a aplicação efetiva do método proposto neste trabalho.

Por fim, a caracterização dos estuários também deve ser incentivada por meio do investimento na pesquisa básica. Afora o esforço isolado de alguns

pesquisadores e instituições, os estuários, e demais ambientes da costa brasileira, são ilustres desconhecidos ou conhecidos superficialmente. Sem o conhecimento de parâmetros básicos destes ambientes, toda e qualquer metodologia de dimensionamento de recursos de resposta será deficitária.

6. REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Maria Valdirene; FREIRE, George Satander Sá. Utilização de SIG nos estudos ambientais do estuário do rio Acaraú - Ceará. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 15, n. 2, p.9-19, 19 set. 2007. Semestral. Disponível em: <<http://www.igc.ufmg.br/geonomos/>>. Acesso em: 04 nov. 2011.
- ASTM INTERNATIONAL. **ASTM F 818**: Standard Terminology Relating to Spill Response Barriers. West Conshohocken, 2009. 3 p.
- ASTM INTERNATIONAL. **ASTM F 1523**: Standard Guide for Selection of Booms in Accordance With Water Body Classifications. West Conshohocken, 2007. 2 p.
- ATWOOD, Donald K.; FERGUSON, Randolph L.. An Example Study of the Weathering of Spilled Petroleum in a Tropical Marine Environment: Ixtoc I. **Bulletin of Marine Science**, [Miami], v. 32, n. 1, p.1-13, jan. 1982.
- BARROS, Geraldo Luiz Miranda de. **Navegar é fácil**. 12. ed. Petrópolis: Catedral das Letras, 2006. 672 p.
- BLUE OCEAN TACKLE INC. **Marine hardware and equipment, and port supply**. Disponível em: <<http://www.blueoceantackle.com/>> Acesso em: 04 dez. 2011.
- BP (England). **BP Statistical Review of World Energy**: June 2011. Disponível em: <BP.com/statisticalreview> Acesso em: 04 set. 2011.
- BP. **Deepwater Horizon**: Accident Investigation Report. [s.l.], 2010. 192 p. Disponível em <http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/incident_response/STAGING/local_assets/downloads_pdfs/Deepwater_Horizon_Accident_Investigation_Report.pdf> Acesso em: 06 set. 2011.
- BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário Estatístico**: 2011. Disponível em: <www.anp.gov.br> Acesso em: 04 set. 2011.
- BRASIL. Lei nº 9.966, de 28 de abril de 2000. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. **Lex** : Diário Oficial da União. 29 abr. 2000.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 269, de 14 de setembro de 2000. Regulamenta o uso de dispersantes químicos em derrames de óleo no mar. **Lex** : Diário Oficial da União de 12 jan. 2001.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Ministério. **Especificações e Normas Técnicas para Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo**. Brasília, 2002. 94 p.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 398, de 11 de junho de 2008. Dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, originados em portos organizados, instalações portuárias, terminais, dutos, sondas terrestres, plataformas e suas instalações de apoio, refinarias, estaleiros, marinas, clubes náuticos e instalações similares, e orienta a sua elaboração. **Lex** : Diário Oficial da União de 12 jun. 2008.

CANADA. Department of Justice. Minister of Justice. **Response Organization and Oil Handling Facilities Regulations**. Ottawa: Minister of Justice, 2011.

CANTAGALLO, Camila; MILANELLI, João Carlos C.; DIAS-BRITO, Dimas. Limpeza de ambientes costeiros brasileiros contaminados por petróleo: Uma revisão. **Pan-american Journal Of Aquatic Sciences**, [s. L.], v. 1, n. 2, p.1-12, abr. 2007. Trimestral. Disponível em: <<http://www.panamjas.org/>>. Acesso em: 27 nov. 2011.

CARDOSO, Anelise Menezes. **Sistema de informações para planejamento e resposta a incidentes de poluição marítima por derramamento de petróleo e derivados**. 2007. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

CARVALHO, M. E. S.; FONTES, A. L.. Caracterização geomorfológica da zona costeira do estado de Sergipe. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6., 2006, Goiânia. **Anais...** . Goiânia: União da Geomorfologia Brasileira, 2006.

CHEREMISINOFF, Nicholas P.; DAVLETSHIN, Anton. **Emergency Response Management of Offshore Oil Spills: Guideline for Emergency Responders**. Salem, MA: Scrivener Publishing LLC, 2011. 529 p.

CORTEZ, Creuza Soares. **Conhecimento ecológico local, técnicas de pesca e uso dos recursos pesqueiros em comunidades da Área de Proteção Ambiental Barra do rio Mamanguape, Paraíba, Brasil**. 2010. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento e Meio Ambiente, UFPB, João Pessoa, 2010.

CROSS, R. H.; HOULT, D. P.. Oil booms in tidal currents. In: CONFERENCE ON COASTAL ENGINEERING, 12., 1970, Washington D.C. **Proceedings...** . Washington D.C.: Coastal Engineering Research Council, 1970.

DEMORE, João Pedro. **Aspectos sedimentares do estuário da Lagoa dos Patos e sua interação com a poluição por petróleo**: Subsídios para um plano de contingência. 2001. 52 f. Monografia (Bacharelado) - Curso de Oceanografia, Departamento de Geociências, Fundação Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande, 2001.

- DICKS, Brian et al. Management and work force requirements for effective shoreline cleaning operations. In: INTERSPILL, 1., 2000, Brighton. **Proceedings...** . Brighton: Interspill, 2000.
- DUARTE, Antônio A. L. Sampaio; VIEIRA, José M. Pereira. Caracterização de ambientes estuarinos: Mistura em estuários. **Engenharia Civil**, Braga, n. 6, p.41-55, 1997.
- EXXONMOBIL (United States Of America). **Oil spill response**: Field manual. [s. L.]: Exxonmobil Research and Engineering Company, 2008. 320 p.
- FERREIRA, José Paulo. **Análise de estratégias de resposta a derramamento de óleo pesado no litoral do Espírito Santo utilizando modelagem computacional**. 2006. 199 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.
- FINGAS, Merv; Environmental Technology Centre; Environment Canada. **Weather Windows for Oil Spill Countermeasures**. Anchorage: Prince William Sound Regional Citizens' Advisory Council, 2004.
- FINGAS, Mervin (Ed.). **Oil Spill Science and Technology**: Prevention, Response and Cleanup. Oxford: Elsevier, 2011.
- FURTADO, André Tosi. A trajetória tecnológica da Petrobras na produção offshore. **Espacios**, Caracas, v. 17, n. 3, p.0-0, 1996.
- GETTER, C. D. et al. The Recovery and Restoration of Salt Marshes and Mangroves Following an Oil Spill. In: CAIRNS JUNIOR, J.; BULKEMA JUNIOR, A. L.. **Restoration of habitats impacted by oil spills**. Toronto: Butterworth Publishers, 1984. p. 65-113.
- HAUSER, Robert L.; GUERARD JUNIOR, Willian F.. **A history of oil and gas-well blowouts in California: 1950-1990**. Sacramento: California Department Of Conservation, 1993.
- HOLLNAGEL, Erik; PARIÈS, Jean; WOODS, David D.; Wreathall, John. **Resilience Engineering in Practice**: A guidebook. Farnhan: Ashgate Publishing Group, 2010.
- INTERNATIONAL DIRECTORY OF OIL SPILL CLEANUP CONTRACTORS. **Cleanupoil.com**. Disponível em: <<http://www.cleanupoil.com/>>. Acesso em: 29 nov. 2011.
- INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (London). United Nations. **MARPOL**: Consolidated Edition 2006. 2006. ed. London: International Maritime Organization, 2006. 346 p.

- INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. Combating Oil Spills. In: INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. **MANUAL ON OIL POLLUTION**. London, UK: IMO, 2005. Sec. 4.
- INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION & INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION (United Kingdom). **IMO/IPIECA Report Series**. Vol. 2. Sensitivity Mapping for Oil Spill Response. London, UK: IPIECA, 1994. 28 p. Vol 1.
- INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION & INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION (United Kingdom). **IMO/IPIECA Report Series**. Vol. 2. Guide to oil spill exercise planning. London, UK: IPIECA, 1996.
- INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION. **IPIECA REPORT SERIES**: Volume 2 – A guide to contingency planning for oil spills on water. 2. ed. London, UK: IPIECA, 2000.
- INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION (United Kingdom). **IPIECA REPORT SERIES**: Volume 1 – Guidelines on biological impacts of oil pollution. London: IPIECA, 2000.
- INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION (United Kingdom). **IPIECA REPORT SERIES**: Volume 10 – Choosing spill response options to minimize damage: Net environmental benefit analysis. London: IPIECA, 2000.
- INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION (United Kingdom). **IPIECA REPORT SERIES**: Volume 11 – Oil spill responder safety guide. London: IPIECA, 2002.
- INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION (United Kingdom). **IPIECA REPORT SERIES**: Volume 13 – A guide to oiled wildlife response planning. London: IPIECA, 2004.
- INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION (United Kingdom). **IPIECA REPORT SERIES**: Volume 14 – Guide to tiered preparedness and response. London: IPIECA, 2007.
- INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION. **ACTION AGAINST OIL POLLUTION**. London, UK: IPIECA, 2005.
- INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED. **Recognition of oil on shorelines**: Technical information paper n°5. London, 2008.

- INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED (United Kingdom). **Fate of Oil Spills**. Disponível em: <<http://www.itopf.com/fate.html>>. Acesso em: 08 dez. 2011.
- INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED (United Kingdom). ITOPF Handbook. 2010/2011 London: The International Tanker Owners Pollution Federation Limited, 2011. 54 p.
- JERNELÖV, Arne; LINDÉN, Olof. Ixtoc I: A Case Study of the World's Largest Oil Spill. **Ambio**, The Caribbean, v. 10, n. 6, p.299-306, 1981. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/4312725>>. Acesso em: 10 set. 2011.
- KERAMBRUN, Loïc; PARKER, Hugh. When should clean-up operations be brought to a close: How clean is clean? In: 20 YEARS AFTER AMOCO CADIZ SYMPOSIUM, 1998, Brest. **Proceedings...** . Brest, 1998.
- LEÃO, Bruno Machado. **Biomassa, taxionomia e ecologia do fitoplâncton do estuário do rio Igarassu (Pernambuco, Brasil)**. 2004. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biologia Vegetal, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.
- LOPES, Carlos Ferreira; POFFO, Iris Regina Fernandes; HADDAD, Edson. Atendimento emergencial ao derrame de óleo ocorrido em São Sebastião (SP), provocado pelo navio "Vergina II". **Meio Ambiente Industrial**, São Paulo, n. 29, p.76-83, mar-abr. 2001. Bimestral.
- LOPES, Carlos Ferreira; MILANELLI, João Carlos Carvalho; GOUVEIA, Jorge Luiz Nobre. Atendimento Emergencial: Materiais Absorventes. **Revista Meio Ambiente Industrial**, São Paulo, n. 53, p.42-46, jan-fev. 2005. Bimestral.
- MENDOZA-CANTÚ, Ania et al. Identification of environmentally vulnerable areas with priority for prevention and management of pipeline crude oil spills. **Journal Of Environmental Management**, [s. L.], v. 92, n. 5, p.1706-1713, 03 mar. 2011.
- MERLIN, François Xavier; GUERROUÉ, Pascale Le. **Use of Sorbents for Spill Response: Operational Guide**. Brest: Centre de Documentation, de Recherche et d'Expérimentations sur les Pollutions Accidentelles des Eaux, 2009.
- MICHEL, Jacqueline; BENGGIO, Bradford. Guidelines for selecting appropriate cleanup endpoints at oil spills. In: INTERNATIONAL OIL SPILL CONFERENCE, 1999, Seattle. **Proceedings...** . Seattle: IOSC, 1999. p. 591 - 595.
- MOLTU, U. E.; PINTURIER, L. Zero Harmful Impact from Drilling Discharges: Where are the Limits?. In: SPE INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH, SAFETY, AND ENVIRONMENT IN OIL AND GAS EXPLORATION AND PRODUCTION, 2008, Nice. **Proceedings...** . Nice: Society Of Petroleum Engineers, 2008.

- MONTEIRO, Aline Guimarães. **Metodologia de avaliação de custos ambientais provocados por vazamento de óleo: O estudo de caso do complexo REDUC-DTSE**. 2003. 293 f. Tese (Doutorado) - Curso de Planejamento Energético e Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- NORWEGIAN TECHNOLOGY STANDARDS INSTITUTION OSCARSGATE (Norway). Institute. **Z-013: Risk and Emergency Preparedness Analysis**. Oslo, mar 1998. 116 p. (Rev 1).
- OEBIUS, Horst U. Physical Properties and Processes that Influence the Clean Up of Oil Spills in the Marine Environment. **Spill Science & Technology Bulletin**, Oxford, v. 5, n. 3/4, p.177-289, 1999.
- OLIVEIRA, Daniela; FERREIRA, Washington; ASMUS, Milton. Caracterização dos ecossistemas e identificação dos níveis de ocupação antrópica da margem do canal de navegação da cidade de Rio Grande, RS. In: ENCUESTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA, 12., 2009, Montevideo. **Anais...** . Montevideo: Egal, 2009. Disponível em: <<http://www.egal2009.com/>>. Acesso em: 05 nov. 2011.
- PETRÓLEO BRASILEIRO SA. **Plano de Emergência para Vazamento de Óleo na Bacia de Sergipe e Alagoas**: PEVO-SEAL. Aracaju, 2011.
- PETRÓLEO BRASILEIRO SA. **Relatório do exercício simulado do PEI - nível 3: Campos de Dourado, Camorim e Guaricema**. Aracaju, 2011. 37 p.
- PERRY, Robin. Protection of sensitive coastal areas in the United Kingdom from Torrey Cannon to the New Millennium. In: INTERNATIONAL OIL SPILL CONFERENCE, 1999, Seattle. **Proceedings...** . Seattle: International Oil Spill Conference, 1999.
- PETERSON, Charles H.; MICHEL, Jacqueline. Appendix K: Beach Processes and the Life Histories of Benthic Invertebrates on Beach and Tidal Flat Habitats Affected by the Cosco Busan Oil Spill, California. In: UNITED STATES OF AMERICA. California Department of Fish and Game, California State Lands Commission, National Oceanic and Atmospheric Administration, United States Fish and Wildlife Service, National Park Service, Bureau of Land Management. **Cosco Busan Oil Spill: Damage Assessment and Restoration Plan/ Environmental Assessment**. Sacramento: Cosco Busan Oil Spill Trustees, 2011. Draft.
- PIMENTEL, Flávia Pozzi. **Análise de estratégias de respostas a derramamentos de óleo no campo de Golfinho (ES – Brasil) utilizando o modelo OSCAR**. 2007. 114 f. Monografia (Bacharelado) - Curso de Oceanografia, Departamento de Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

- POFFO, Íris Regina Fernandes. **Gerenciamento de riscos socioambientais no complexo portuário de Santos na ótica ecossistêmica**. 2007. 171 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência Ambiental, Departamento de Procam, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- PRITCHARD, D.W. What is an estuary: Physical viewpoint?. In: PRITCHARD, D. W.. **Estuaries**. Washington, D.C.: American Association for the Advancement of Science, 1967. p. 3-5.
- PURNELL, Karen J. Comparative costs of low technology shoreline cleaning methods. In: INTERNATIONAL OIL SPILL CONFERENCE, 15., 1999, Seattle. **Proceedings...** . Seattle: International Oil Spill Conference, 1999.
- PURNELL, Karen J. The ITOPF perspective. In: SPILLCON, 2002, Sydney **Proceedings...** . Sydney: SPILLCON, 2002.
- QUEIROZ, Antônio Fernando de Souza et al. Comportamento geoquímico dos hidrocarbonetos no ecossistema costeiro: Exemplo dos sedimentos de manguezais da Baía de Todos os Santos, Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, 4., 2007, Campinas. **Anais...** . Campinas: Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás, 2007.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Yara. **Situação atual do grupo de ecossistemas: "Manguezal, Marisma e Apicum"** - Incluindo os principais vetores de pressão e as perspectivas para sua conservação e usos sustentável. São Paulo: Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, [2003]. 119 p.
- SCHWOCHOW, Rosane Quaresma; ZANBONI, Ademilson J. O Estuário da Lagoa dos Patos: Um exemplo para o ensino de ecologia no nível médio. **Cadernos de Ecologia Aquática**, Rio Grande, v. 2, n. 2, p.13-27, ago-dez. 2007. Semestral. Disponível em: <<http://www.cadernos.ecologia.furg.br/>>. Acesso em: 02 nov. 2011.
- SERGIPE. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos - SEMARH. Governo do Estado de Sergipe. **Elaboração do plano estadual de recursos hídricos de Sergipe: Reenquadramento dos Corpos d'Água do Estado de Sergipe**. Aracaju, 2009. 112 p.
- SOARES, Ilton Araújo; LINS, Jorge Oliveira; CÂNDIDO, Gesinaldo Ataíde. Diagnóstico ambiental das áreas de preservação permanente localizadas no estuário do rio Ceará Mirim/RN com uso de um sistema de indicadores ambientais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11., 2007, Natal. **Anais...** . Natal: Sbgfa, 2007.
- SOUZA FILHO, Pedro Walfir M. et al. Environmental sensitivity mapping for oil spill in the amazon coast using remote sensing and GIS technology. In: GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2004., 2004,

Anchorage, AK. **Proceedings...** . Anchorage, AK: IGARSS, 2004. v. 3, p. 1565 - 1568.

SØRGÅRD, E. et al. A Stepwise Methodology for Quantitative Environmental Risk Analysis of Offshore Petroleum Activities. In: SPE/UKOOA EUROPEAN ENVIRONMENTAL CONFERENCE, 1997., 1997, Aberdeen. **Proceedings...** . Aberdeen: Society Of Petroleum Engineers, 1997.

TAN, Wilson. Responding to an Inland Oil Spill in Remote Areas. In: ASIA PACIFIC HEALTH, SAFETY, SECURITY AND ENVIRONMENT CONFERENCE, 2009, Jakarta. **Anais...** . Jakarta: Society of Petroleum Engineers, 2009.

THOMAS, José Eduardo. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. 2ª Edição. Rio de Janeiro : Interciência, 2004. 271p.

UNITED KINGDON. Maritime and Coastguard Agency. STOp 4/99: Guidelines for the preparation of coastal and estuarine booming plans. Southampton, 1999. 26 p.

UNITED STATES OF AMERICA. Department of Defense of United States of America. **MIL-STD-882D**: Standard Practice for System Safety. [s. L.]: Department Of Defense Of United States Of America, 2000. 11 p.

UNITED STATES OF AMERICA. United States Coast Guard Research and Development Center. United States Coast Guard. **Oil Spill in Fast Currents**: A field guide. Springfield, VA: National Technical Information Service, 2001.

UNITED STATES OF AMERICA. National Oceanic And Atmospheric Administration. Department Of Commerce. **NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 11**: Environmental Sensitivity Index Guidelines. 3. ed. Seattle, 2002. 192 p.

UNITED STATES OF AMERICA. Criteria for state, local and regional oil removal contingency plans. Title 40, Volume 21, Subpart 109. **LEX** : Code of Federal Regulations. 01 jul. 2006.

UNITED STATES OF AMERICA. National Oceanic and Atmospheric Administration. United States Department of Commerce (Org.). **Characteristics of Response Strategies**: A Guide for Spill Response Planning in Marine Environments. Seattle (WA): United States Department of Commerce, 2010. 76 p.

UNITED STATES OF AMERICA. Oil pollution prevention. Title 40, Volume 21, Subpart 112. **LEX** : Code of Federal Regulations. 01 jul. 2010.

UNITED STATES OF AMERICA. National oil and hazardous substances pollution contingency plan. Title 40, Volume 21, Subpart 300. **LEX** : Code of Federal Regulations. 01 jul. 2010.

UNITED STATES OF AMERICA. National Oceanic and Atmospheric Administration. United States Department of Commerce. **Oil spill in mangroves**: Planning &

response considerations. [s. L.]: United States Department of Commerce, 2010.

UNITED STATES OF AMERICA. National Commission On The BP Deepwater Horizon Oil Spill And Offshore Drilling. **Deep Water: The Gulf Oil Disaster and the Future of Offshore Drilling.** Washington, 2011. 398 p. Disponível em: <http://www.oilspillcommission.gov/sites/default/files/documents/DEEPWATER_ReporttothePresident_FINAL.pdf>. Acesso em: 06 set. 2011.

UNITED STATES OF AMERICA. Oil-spill response requirements for facilities located seaward of the coast line. Part 254. Title 30 - Mineral Resources. **LEX** : Code of Federal Regulations. 01 jul. 2010.

VINNEM, J. E. **Environmental Risk Analysis of Near-shore Wildcat well:** Approach to Rational Risk Acceptance Criteria, Society of Petroleum Engineers, paper 37852. p.147-157, abr 1997.

ANEXOS

ANEXO A – Roteiro das Entrevistas

Roteiro para entrevista de dimensionamento de barreiras

1. Data:
2. Horário de início:
3. Nome do entrevistado:
4. Quanto tempo de experiência em atendimento a vazamentos de óleo?
5. Você lembra de algum atendimento que demandou a proteção da foz de um rio? Relate brevemente?
6. Quais fatores você considera importante na hora de dimensionar a quantidade de barreiras para proteger a foz de um rio?
7. Como esses fatores influenciam no teu dimensionamento de barreiras?
8. Que fatores você leva em consideração para definir a quantidade de pessoas necessárias para resposta de proteção na foz de um rio?
9. Como estes fatores influenciam a quantidade de pessoas?
10. Quantas pessoas você costuma levar para executar uma proteção na foz de um rio?
11. Qual a capacitação necessária a estas pessoas?
12. Você recomenda mais alguma pessoa com quem eu possa realizar esta entrevista? Contato?
13. Horário de término:

ANEXO B – Atas das Entrevistas

ATA DA ENTREVISTA 1

Entrevista realizada dia 15/05, das 13:20 às 13:49.

O entrevistado informou ter mais de 11 anos de experiência em combate a vazamento de óleo.

Sua última experiência na resposta em estuários foi em um exercício simulado na foz do rio Jucu, no Espírito Santo.

Considera importante para a seleção de equipamentos de resposta a presença de componentes sensíveis, tais como manguezais, unidades de conservação, territórios indígenas e atividade de aqüicultura.

Considera importante dispor de uma embarcação adequada ao local de atendimento. Segundo ele, uma embarcação adequada seria aquela utilizada nos pântanos Everglades, na Flórida, cuja a propulsão não afetaria o fundo do rio.

É importante identificar as rotas de acesso, a presença de rampas e a permissão de acesso.

Recolhedores adequados para este tipo de ambiente seriam os que demandam baixo calado, tais como recolhedores oleofílicos e recolhedores a vácuo.

Com relação a profundidade, confirmou que locais com baixo calado podem gerar drenagem pela instalação de barreiras com saias muito longas.

Para definir a quantidade de pessoas, é necessária uma avaliação do local.

Frisou que para estuários, dada a elevada complexidade, seriam necessárias pessoas bastante qualificadas. Esta preocupação é significativa para evitar que as ações de resposta causem mais impactos que o óleo em si.

Segundo ele, a quantidade de pessoas necessárias para responder em um estuário depende do número de pontos de trabalho necessários. Em cada ponto seriam necessários 5 a 8 pessoas, sendo uma destas pessoas incumbida de liderar esta equipe. Em um estuário com menor complexidade seriam necessárias 5 pessoas. Em um estuário com maior complexidade 8 pessoas.

ATA DA ENTREVISTA 2

Entrevista realizada dia 15/05, das 14:01 às 14:27.

O entrevistado informou ter mais de 23 anos de experiência em combate a vazamento de óleo.

Considera importante contar com embarcações com calado adequado a profundidade disponíveis, sejam elas próprias, pré-cadastradas ou prontas para contrato.

Se mostrou bastante favorável ao uso de material absorvente, seja ele no formato de barreiras ou granulado. O material absorvente é especialmente adequado quando o efetivo e eficiente uso de recolhedores não forem apropriados, bem como quando ocorrer ventos acima de 15 nós, onde o uso de barreiras de contenção se torna pouco prático.

Uma das primeiras ações em um estuário seria a proteção da entrada.

As barreiras de contenção mais adequadas seriam as de 4 e 6 polegadas pela sua facilidade no manuseio, no transporte, na ancoragem e na operação com correntezas mais fortes.

Uma quantidade ideal de pessoas para manter em prontidão em uma base seriam 9 pessoas bastante capacitadas, porém para uma resposta completa em um estuário seriam necessárias pelo menos 60 pessoas no total, envolvidas em atividades de apoio, logística, disposição de resíduos, comunicação e etc.

Obs.: Essas são informações preliminares, a dimensão de recursos tem como respaldo em estudos de cenários de poluição e avaliação ambiental. Várias estratégias devem ser planejadas num plano de emergência.

ATA DA ENTREVISTA 3

Data da entrevista:17/05/2012

Horário: 14:36 – 14:50

O entrevistado possui 14 anos de experiência em resposta a vazamentos de óleo. Sua última experiência de resposta em estuários foi em um atendimento em Vila do Conde, município de Barcarena, Pará.

Relatou diversas vezes que a intensidade da correnteza é essencial na definição da estratégia, na especificação das barreiras, na quantificação de barreiras e na quantidade de pessoas envolvidas.

A saia das barreiras depende da intensidade da correnteza. Correntes muito fortes demandam barreiras com saias menores.

Informou que considera o vento pouco importante na definição do tipo de barreira utilizada.

Considera muito importante o uso de barreiras de interface, em função da variação da altura da água pela maré. Estas barreiras são importantes principalmente para a proteção de áreas sensíveis como manguezais.

A presença de âncoras adequadas para o tipo de fundo é essencial.

Além da proteção de áreas sensíveis, é importante definir áreas de sacrifício para defletir o óleo.

Em rios com meandros, normalmente são observadas correntezas menos intensas, o que facilita a operação.

Em rios com deltas formados, é interessante ter recursos para todos os canais. Caso isso não seja possível, devem ser selecionados quais canais serão protegidos.

As operações nos estuários são complexas. Para uma primeira resposta seria necessário um supervisor e cinco pessoas capacitadas. Além disso seria necessária toda uma equipe de apoio para prover recursos de alimentação, segurança, logística e etc.

Após a avaliação inicial, em um segundo momento, mais pessoas podem ser mobilizadas.

A capacitação deste pessoal deve envolver conhecimentos de marinharia básica e o treinamento básico de resposta a vazamentos de óleo. Este treinamento básico contempla noções de segurança, bastante necessárias em um ambiente complexo como um estuário.

ATA DA ENTREVISTA 4

Data da entrevista:19/05/2012

Horário: 10:26 – 12:00

O entrevistado relatou ter 11 anos e 8 meses de experiência em respostas a vazamento de óleo.

Seu último atendimento em estuários foi no rio Caceribu, que deságua na Baía da Guanabara. O estuário em questão apresentava presença de manguezais. Foram utilizadas barreiras de contenção e foi feito recolhimento de óleo. O referido rio possuía grande largura. Foram utilizadas cerca do dobro da largura do rio em barreiras.

A quantidade de barreiras para a proteção deve ser o suficiente para configurar as barreiras com 30 ou 45 graus em relação a corrente.

A correnteza foi citada mais de uma vez como o fator preponderante na definição da estratégia e na seleção de equipamento em um rio. A complexidade das operações também é definida pela intensidade da correnteza.

O acompanhamento de condições climáticas é necessário, uma vez que em condições de chuva a velocidade da correnteza pode se intensificar.

A inversão da correnteza em função da oscilação de maré é um fator que aumenta a complexidade e torna necessário aproveitar janelas de oportunidade para executar as operações de resposta.

A proteção de canais e de componentes sensíveis como a atividade de aquicultura demandam barreiras também.

O uso de barreiras de interface não é recomendado para ambientes com elevada correnteza pela ausência de elemento resistente a tração nestes equipamentos. Estes equipamentos são muito bons em ambientes de baixa energia.

A presença de material flutuante, tais como vegetações aquáticas flutuantes (ex.: gigogas), detritos e elevada carga de sedimentos podem gerar riscos de danificar as barreiras. Nestes casos, a complexidade da operação é ainda maior. A elevada carga de sedimentos é um fator recorrente em estuários do tipo delta.

Considera importante que a área esteja abrigada da ação de ventos, portanto a presença de matas ciliares é um fator favorável. Em locais com ventos mais fortes,

recomenda o uso de barreiras do tipo cortina, que sofre menos com a intensidade dos ventos. Porém não considera o vento como um fator realmente limitante, a menos que exiba valores extremos (acima de 50 nós).

A profundidade deve ser considerada para não selecionar barreiras com saias incompatíveis. As saias devem ter no máximo 20% da profundidade do local. Prefere usar barreiras com saias entre 12 polegadas e 16 polegadas (30 a 40 cm). Em correntezas elevadas utilizaria barreiras com 9 a 12 polegadas (23 a 30 cm).

Com relação a capacitação do pessoal que compõe as equipes, os envolvidos devem ser bastante versáteis, ter boa capacidade de improvisação, devem conhecer as características das barreiras e as suas limitações. Devem ter conhecimentos básicos de marinharia tais como uso de nós e navegação. Também devem ter conhecimentos de primeiros socorros.

O uso de recursos humanos das comunidades é possível desde que estes tenham bom conhecimento do ambiente e que estejam habituados com trabalhos similares, tais como pescadores e coletores de caranguejos.

Considera importante que a composição das equipes preveja a presença de biólogos ou oceanógrafos.

Em termos de números, recomenda que a equipe inicial não seja maior que 15 pessoas. Isso sem contar o pessoal de apoio e logística. O número ideal seria o de 10 pessoas, sendo um pescador da comunidade, 1 biólogo e 8 pessoas habilitadas no uso de equipamentos. Em ambientes pouco complexos a quantidade de profissionais pode chegar a 3 pessoas, desde que bastante experientes.

Em áreas com facilidade de acesso, este número pode ser maior, porém seria difícil precisar qual o número ideal.

Caso o atendimento se prolongasse, esses 10 profissionais iniciais poderiam assumir a liderança de frentes de trabalho isoladas e ampliar a equipe com a utilização de pessoal menos capacitado.

A presença de um técnico do órgão ambiental competente para autorizar a adoção das técnicas seria ideal.