

Guido Luporini

**Um Sistema de Vigilância Marítima
Aplicado à Poluição Marinha
por Petróleo no Brasil**

Dissertação apresentada ao Programa
Interunidades de Pós-Graduação em
Energia (PIPGE) da Universidade de
São Paulo para a obtenção do título de
Mestre.

SÃO PAULO
1996



Guido Luporini

**Um Sistema de Vigilância Marítima
Aplicado à Poluição Marinha
por Petróleo no Brasil**

Dissertação apresentada ao Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre.

Orientador:

Prof. Dr. Célio Bermann

DEDALUS - Acervo - IEE



30400001735

SÃO PAULO
1996

AGRADECIMENTOS:

Ao professor Hermann Kux, cujo interesse e apoio, me introduziu e me orientou na área de sensoriamento remoto.

Ao professor Rui Botter, que me orientou na área de poluição marinha.

E, ao meu orientador e amigo, o professor Célio Bermann, pelas idéias desenvolvidas ao longo do processo de aprendizado.



UM SISTEMA DE VIGILÂNCIA MARÍTIMA APLICADO À POLUIÇÃO
MARINHA POR PETRÓLEO NO BRASIL

Lista de Figuras

Lista de Gráficos

Listas de Tabelas

Resumo

Abstract

Introdução	1
Capítulo 1 - Aspectos Ambientais da Poluição Marinha	7
1.1 Os Mares e Oceanos	7
1.2 Poluição Marinha	12
1.3 Impactos Ambientais.....	33
Capítulo 2 - Poluição Marinha por Petróleo	42
2.1 Fontes de Introdução de Óleo no Mar	42
2.2 Características Físicas e Químicas do Petróleo	62
2.3 Comportamento do Óleo em Ambientes Marinhos	72
2.4 Impactos Ecológicos Marinhos	85
2.5 Impactos Sócio-Econômicos	95
2.6 Controle e Avaliação da Poluição Marinha	98

Capítulo 3 - Poluição Marinha por Petróleo: O Panorama Brasileiro	117
3.1 Produção, Consumo, Dependência Externa e Transporte de Petróleo	117
3.2 A Poluição por Óleo no Brasil	128
Capítulo 4- Um Sistema de Vigilância Marítima por Radar (SVM) Aplicado à Poluição por Óleo	154
4.1 Histórico	154
4.2 Proposta Técnica do Sistema de Vigilância Marítima (SVM)	159
4.3 Conceito Operacional	161
4.4 Definição do Sistema Proposto	194
Capítulo 5 - Conclusões	205
Referências Bibliográficas	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: A Biosfera	10
Figura 2.1: Localização dos Principais Derramamentos de Petróleo no Mar	45
Figura 2.2: Estrutura de hidrocarbonetos típicos: (a)alcanos; (b)naftalenos; (c) aromáticos; (d) alquenos	65
Figura 2.3: Comportamento do óleo em ambientes marinhos	73
Figura 2.4: Espalhamento de uma mancha de óleo	77
Figura 2.5: Resultado do movimento da corrente e do vento	78
Figura 3.1: Distribuição dos Terminais Marítimos, Refinarias e Dutos no Brasil	126
Figura 4.1 Sistema de Vigilância Marítima Proposto	163
Figura 4.2: O Satélite ERS-1	174
Figura 4.3: Classificação dos Sensores Microondas	183
Figura 4.4: Imageamento SLAR de óleo no mar	186
Figura 4.5: Parâmetros de Resolução de imagens SLAR	188
Figura 4.6: (a) Método SAR de Aquisição de Dados. (b) Efeito Doppler	190
Figura 4.7: Sistema de Vigilância Marítima da Guarda Costeira Sueca, Equipado com um RAR, um Scanner IV, um UV, e um Radiômetro de Microondas	195

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1: Fontes de Introdução de Óleo no Mar por Porcentagem	47
Gráfico 2.2: Participação por Fonte de Poluição por Óleo em Operações Off-Shore	52
Gráfico 2.3: Incidentes de Derramamentos de Óleo por Causa	59
Gráfico 3.1: Oferta Interna de Energia - 1940/1994	118
Gráfico 3.2: Evolução da Produção Nacional de Petróleo - 1940/79	120
Gráfico 3.3: Evolução da Dependência Externa de Petróleo - 1979/1994	121
Gráfico 3.4: Evolução das Reservas Nacionais de Petróleo - 1970/1994	122
Gráfico 3.5: Projeção da Dependência Externa de Energia	123
Gráfico 3.6: Importação Brasileira de Petróleo	124
Gráfico 3.7: Derivados Exportados nos Últimos 10 anos	125
Gráfico 3.8: a) Derramamentos de Óleo no Mar por Categoria por Ano no Mundo e b) No Brasil.....	131
Gráfico 3.9: Volume Total de Petróleo Derramado no Mundo por Ano	132
Gráfico 3.10: (a) Participação Relativa e (b) Percentual do Número de Derramamentos por Categoria no Brasil	133
Gráfico 3.11: Participação Percentual por Causa em Relação ao Volume Total derramado no Brasil na Década de 80 (a) Categoria entre 7 e 700 t e (b) Acima de 700t	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Contabilização Global do CO ₂ e C produzido no Ciclo do Carbono	11
Tabela 1.2: Concentração Média e Quantidade Total de Metais na Água do Mar e seus prováveis compostos	25
Tabela 2.1: Fontes de Introdução de Óleo no Ambiente Marinho	47
Tabela 2.2: Principais Derramamentos Causados por Navios	54
Tabela 3.1: Projeções - Produção e Demanda de Óleo	122
Tabela 3.2: Produção de Óleo no Brasil, por Região (1996)	127
Tabela 3.3: Maiores Acidentes no Brasil	128
Tabela 3.4: Tabela Comparativa do Número de Acidentes por Categoria e da Quantidade de Óleo Derramado no Mundo e no Brasil	129
Tabela 3.5: Estimativa de volume derramado e quantidade recolhida (óleo e areia) nos derramamentos de óleo, no litoral norte de São Paulo	143
Tabela 3.6: Causa de acidentes que atingiram o mar	144
Tabela 4.1: Sistemas SAR orbitais.....	159
Tabela 4.2: Performance das Medidas do ERS-1	178
Tabela 4.3: Principais Parâmetros RAR	196
Tabela 4.4: Parâmetros de Operação dos scannres Lineares IV e UV	197
Tabela 4.5: Principais Parâmetros do sistema STAR 2	200
Tabela 4.6: Custos de Implementação do Sistema STAR 2	200

RESUMO

O principal objetivo deste trabalho é fazer uma análise exploratória a partir da bibliografia disponível, sobre o problema da poluição marinha no Brasil, em particular, da causada por derramamentos de óleo.

Analisando as principais fontes de poluição, no mundo e no Brasil, seus respectivos impactos ambientais e as metodologias de prevenção, controle, e de resposta adotadas, foi proposto um sistema de vigilância marítimo, capaz de vigiar grandes áreas independentemente das condições de luminosidade e de tempo.

São apresentadas duas propostas, ambas baseadas em técnicas de sensoriamento remoto por radar, mas que se diferem principalmente pelas técnicas de aquisição de imagens e de processamento dos dados. Uma já consagrada mundialmente, a RAR (Real Aperture Radar), e, a outra, a SAR (Synthetic Aperture Radar), que além de operar sob as condições adversas acima mencionadas, é capaz também de obter ótima resolução espacial independentemente da distância do sensor e do alvo.

Este estudo demonstra a ineficiência das metodologias adotadas aqui no Brasil, para detectar, avaliar e combater óleo no mar e alerta para as vantagens de se utilizar técnicas modernas de vigilância marítima.

ABSTRACT

The main objectives of this work are to make an exploratory analysis from the available readings, about the maritime pollution problem in Brazil, particularly that from oil spills.

Analyzing the main sources of oil pollution around the world and in Brazil; their environmental impacts, and prevention, control and response methods adopted, a radar maritime surveillance system was proposed to investigate large areas, under rain or sun, at day and night time, against oil spills.

It is presented two kinds of sensor: the first one is RAR (Real Aperture Radar) which is well known world wide, and the other one is the SAR (Synthetic Aperture Radar), which is well suited to have good spatial resolution at any distance from the target.

This work shows the needs to solve those problems related to maritime pollution in Brazil and the advantages to have a modern system to patrol the sea.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de dimensões continentais. Seu litoral possui 7491 km de extensão e abriga uma população de 33 milhões de habitantes. Sua costa é composta por delicados ecossistemas - como praias, mangues, bentos, restingas, lagoas, brejos, etc. - e valiosos recursos naturais, como a grande variedade de peixes propícios para o consumo e o petróleo, extraído das bacias sedimentares localizadas na plataforma continental. Para que possamos assegurar o desenvolvimento sustentável das regiões litorâneas, devemos buscar uma perfeita harmonia entre as ações antropogênicas e o meio ambiente. Essa harmonia, entretanto, é uma utopia, haja visto, que o governo brasileiro não dispõe de meios nem recursos para assegurar um controle eficiente das atividades desenvolvidas nas águas territoriais brasileiras, como as atividades pesqueiras, a patrulha de fronteiras, o controle da poluição marinha, etc.

A poluição marinha é hoje uma trágica realidade mundial e por isso, diversos países têm se unido no intuito de preparar medidas regulatórias e de prevenção, bem como planos de contingência multi-laterais para tentar minimizar ao máximo os efeitos adversos ao ambiente marinho.

O petróleo, por exemplo, quando introduzido no mar, forma uma fina película que funciona como um filtro, impedindo a penetração da luz solar e as trocas gasosas entre as superfícies do ar e da água, reduzindo assim, a produtividade dos fito e zooplânctons, fontes básicas de alimento para toda cadeia alimentar. Quando aderido aos peixes, lagostas e caranguejos, o petróleo impede a respiração; ao solo, a absorção

de nutrientes pelas raízes das plantas; às aves, sua capacidade de impermeabilização; às plantas, a fotossíntese; aos mamíferos, causa hipotermia e impede a absorção dos alimentos pelas mucosas do aparelho digestivo; contamina corais, ostras e mariscos; emporcalha praias e etc. Apesar de evidentes os efeitos maléficos do petróleo à biota, a significância dos impactos ambientais causados pela introdução de petróleo no mar pode variar muito, pois é função de uma série de variáveis que, de acordo como se interrelacionarem na hora do evento podem representar impactos significativos ou não, duradouros ou não. Dependendo das suas características físico-químicas, da localização geográfica e das condições meteorológicas e oceanográficas do local, o petróleo pode se dispersar e biodegradar-se rapidamente, ou ficar retido por muitos anos, como é o caso de regiões de baixa energia existentes em países tropicais (brejos, pântanos, mangues, etc), onde determinadas espécies, principalmente as populações mais jovens, ficam sujeitas aos seus efeitos por muito tempo.

As fontes de poluição marinha por petróleo são muitas, e cada uma delas exige medidas diferentes de controle. Os despejos de petróleos industriais e urbanos e a poluição atmosférica, por exemplo, por chegarem ao ambiente marinho diluídos ou misturados à muitas outras substâncias, raramente são percebidos. Por isso, devem ser combatidos pela fonte. Os grandes acidentes, as operações rotineiras em navios, portos e plataformas produtoras, e os despejos clandestinos no mar, por outro lado, exigem - além da prevenção - uma ampla estrutura interrelacionada baseada em mecanismos tecnológicos, logísticos e de decisão que compõem os planos de contingência e que, resumidamente, pode ser dividida em:

- Decisória, define e aloca as autoridades competentes, providenciando-lhes informações científicas atualizadas (ambientais e logísticas), para monitorar e analisar o progresso do plano de contingência em tempo real. Também distribui os custos da prevenção e dos programas de combate adequadamente;
- Política, pesa os riscos e os custos associados a níveis específicos de redução e remediação de riscos de derramamentos contra outros objetivos econômicos e sociais, define a política dos programas de combate à poluição por petróleo e atende pessoas e comunidades diretamente afetadas pelo derramamento de petróleo - em termos econômicos, psicológicos e sociais;
- Operacional (Tecnológica e Logística) produz pesquisas e desenvolve tecnologia em sistemas de armazenamento e navegação, métodos de confinamento, recuperação e remediação, sob uma variedade de condições ambientais, providencia resposta ao derramamento no menor tempo possível com equipamentos adequados de confinamento, recuperação, remediação e avaliação da poluição, e fornece informações científicas atualizadas aos coordenadores dos planos de ação.

Nos países desenvolvidos, como o Reino Unido ou os Estados Unidos, as Guardas Costeiras têm à sua disposição sistemas de vigilância multi-sensores que fazem campanhas diárias de patrulhamento marítimo. Além de estarem obtendo ótimos resultados em missões de vigilância, como no controle da pesca irregular e predatória e no combate aos despejos clandestinos de petróleo no mar. São, também, capazes de providenciarem a maior parte dos dados ambientais e logísticos acima citados, respondendo à natureza dinâmica das bases de dados moderna, possibilitando um processo decisório rápido, bem informado, de fácil acesso e compreensão.

O Brasil é um país consumidor intensivo de derivados de petróleo. É também produtor, mas não é auto-suficiente. Por isso, nosso litoral convive com os mesmos problemas mundiais causados pela indústria do petróleo - tráfego intenso de petroleiros e produção intensa de petróleo no mar, mas com um sério agravante: não conta com os recursos de fiscalização e controle (Sistemas de Vigilância Marítimos) que os grandes países produtores e importadores de petróleo consideram imprescindíveis.

O estabelecimento de uma vigilância sistematizada nas regiões litorâneas - principalmente, as sensivelmente suscetíveis a derramamentos de óleo (portos, terminais marítimos e plataformas produtoras) - com o intuito de localizar ações ilícitas, prover dados à coordenação de ações em tempo real, melhorar as condições de segurança da navegação, fazer a salvaguarda das fronteiras, e dar apoio a outras atividades que visem o desenvolvimento da região; é imprescindível para manter e incrementar a economia e a qualidade de vida do litoral brasileiro.

Nesse sentido, o presente estudo propõe a implementação de um Sistema de Vigilância Marítimo (SVM) - baseado em técnicas de sensoriamento remoto - capaz de vigiar grandes áreas continuamente, noite e dia, sob quaisquer condições meteorológicas e com transmissão de dados em tempo real; e que tem como objetivo coordenar e integrar as ações governamentais federais, estaduais e municipais, otimizando o emprego de meios e recursos, na coleta, tratamento e veiculação de informações. Informações essas que também podem ser utilizadas para os mais diversos fins, como, por exemplo, no apoio às atividades de pesquisa e desenvolvimento.

As vantagens de se utilizar um Sistema de Vigilância Marítimo para o patrulhamento da costa são muitas, em maior ou menor grau, dependendo do tipo de atividade para a qual foi designado. No presente trabalho, para justificar as potencialidades do sistema, foi escolhida uma atividade de alto risco ambiental, e que ao mesmo tempo é de fundamental importância estratégica para o país. A atividade petrolífera.

Para essa investigação, foram levantadas, primeiramente, as principais referências bibliográficas sobre o assunto. A partir daí, foi montada a estrutura do trabalho, a saber:

No capítulo 1, são abordados alguns aspectos ambientais, como a importância dos mares e oceanos no equilíbrio da biosfera e para a sobrevivência das espécies. São introduzidas, também, terminologias frequentemente utilizadas em situações de acidentes envolvendo derramamentos de petróleo, como poluição marinha e impacto ambiental.

Nesta investigação, para efeito de simplificação, será adotado o termo "óleo" de acordo com a definição feita pela Convenção Internacional para a Prevenção de Poluição Causada por Navios, de 1973 (MARPOL 73/78): "Óleo significa petróleo em qualquer forma incluindo óleo cru, óleo combustível, óleo grosso, dejetos de óleo e produtos refinados.

No capítulo 2, são levantados os principais formas de introdução do óleo no mar pelo mundo, seguindo o ciclo energético do petróleo - da produção ao consumo final - ,

as características físico-químicas do mesmo e seu comportamento no mar. Depois, são apresentados os principais impactos ambientais ecológicos e sócio-econômicos causados por derramamentos de óleo e as principais medidas de controle e avaliação da poluição marinha.

O capítulo 3 traça o panorama nacional dentro da problemática do uso intensivo do petróleo. Aborda, a princípio, a política nacional do petróleo, para depois fazer uma análise (metodologia ITOPF) dos principais acidentes envolvendo derramamentos de óleo no mar no Brasil, segundo o relatório fornecido pela Petrobrás. Por último, são apresentados os protagonistas das campanhas de limpeza de óleo no litoral brasileiro, a respectiva legislação vigente e um estudo de casos, onde são apresentados os históricos de 3 operações de resposta emergencial no litoral norte do Estado de São Paulo, e analisados os tempos de respostas e os métodos de monitoramento das manchas de óleo, empregados durante as operações.

O quarto capítulo faz um breve resumo histórico das principais técnicas de sensorimento remoto aplicado ao monitoramento de manchas de óleo no mar, e apresenta dois Sistemas de Vigilância Marítima: o alternativo - que se utiliza de um radar de abertura real (RAR); e o proposto, que faz uso do radar de abertura sintética (SAR). Apresenta também, os equipamentos orbitais de apoio, que são comparados segundo suas potencialidades de detecção e quantificação de óleo no mar.

No capítulo 5, são apresentadas as principais conclusões, deduzidas ao longo do trabalho, e apresenta também uma proposta de implementação do projeto proposto.

Capítulo 1 - ASPECTOS AMBIENTAIS DA POLUIÇÃO MARINHA

1.1. OS MARES E OCEANOS

Os oceanos e seus mares adjacentes somam, juntos, mais de 90% do volume total de água da Terra; cobrem, aproximadamente, 75% de sua superfície; e exercem um papel fundamental sobre o equilíbrio da biosfera remanescente - a pequena camada de ar, água e terra que suporta a vida: determinando o clima, através das interações dinâmicas entre a atmosfera e os oceanos, e regulando a temperatura do planeta.

Numa analogia ao corpo humano, Heyerdahl (1994) afirma que os oceanos foram o útero do planeta Terra, onde toda vida começou e são, atualmente, o sangue, o coração, os rins e o estômago do Mundo. De fato, como explica Sagan (1984), a Terra se condensou de gás e poeira interestelares há mais ou menos 4,6 bilhões de anos. A origem da vida, aconteceu logo depois, talvez em torno de 4 bilhões de anos atrás, nos lagos e oceanos da Terra primitiva. Naquele tempo, os relâmpagos e a luz ultravioleta do sol separavam as moléculas simples, ricas em hidrogênio da atmosfera primitiva em fragmentos que, espontaneamente, se recombinavam em moléculas mais complexas. Os produtos incipientes dessa química eram dissolvidos nos oceanos, originando um tipo de caldo orgânico de complexidade gradualmente maior, até que um dia, quase que por acidente, apareceu uma molécula capaz de fazer cópias grosseiras de si mesma. Este foi o primeiro ancestral do ácido desoxirribonucleico, o DNA, a principal molécula da vida na Terra.

Na maior parte dos quatro bilhões de anos desde a origem da vida, os organismos dominantes eram algas azuis-esverdeadas microscópicas que cobriam e preenchiam os oceanos. Então, há 600 milhões de anos, o poder monopolizante das algas foi quebrado e emergiu uma proliferação de novas formas de vida - um evento chamado explosão cambriana. Após a explosão, a evolução desses novos organismos ocorreu à uma velocidade espantosa. Em rápida sucessão, apareceram o primeiro peixe e o primeiro vertebrado; plantas anteriormente restritas aos oceanos, iniciaram a colonização da Terra.

Os primeiros insetos evoluíram, e seus descendentes tornaram-se os pioneiros na colonização da Terra pelos animais; surgiram insetos alados juntamente com os anfíbios, criaturas semelhantes aos peixes com pulmões, capazes de sobreviver tanto na terra como na água; apareceram as primeiras árvores e os primeiros répteis; os dinossauros evoluíram; emergiram os mamíferos e então os primeiros pássaros; as primeiras flores desabrocharam; os dinossauros se tornaram extintos; os primeiros cetáceos, ancestrais dos golfinhos e das baleias, surgiram no mesmo período que os primatas - antepassados dos macacos, gorilas e homens. E, então, há mais ou menos 10 milhões de anos, as primeiras criaturas parecidas com seres humanos evoluíram, acompanhadas por um aumento espetacular no tamanho do cérebro, resultando, assim nos seres humanos de hoje.

Conforme a Terra gira em torno do sol, os oceanos são aquecidos e a água se evapora formando nuvens. Elas fluem com os ventos que sopram em todos os lugares, distribuindo a água por todo o planeta, como o coração que bombeia o sangue pelo

corpo humano. Depois, água volta aos oceanos pelos rios e geleiras, ou através das chuvas, formando um sistema fechado, contínuo e infinito (ciclo hidrológico).

Os oceanos, com todos os seus braços e extensões, também funcionam como um rim perfeito, filtrando e purificando poluentes de toda natureza, seja depositando-os no fundo, ou transformando-os em vida quando digeridos por uma das muitas criaturas marinhas existentes. Criaturas de variáveis formas e tamanhos (desde plânctons até baleias) capazes de digerir qualquer coisa, independentemente do sabor e de seu valor nutritivo.

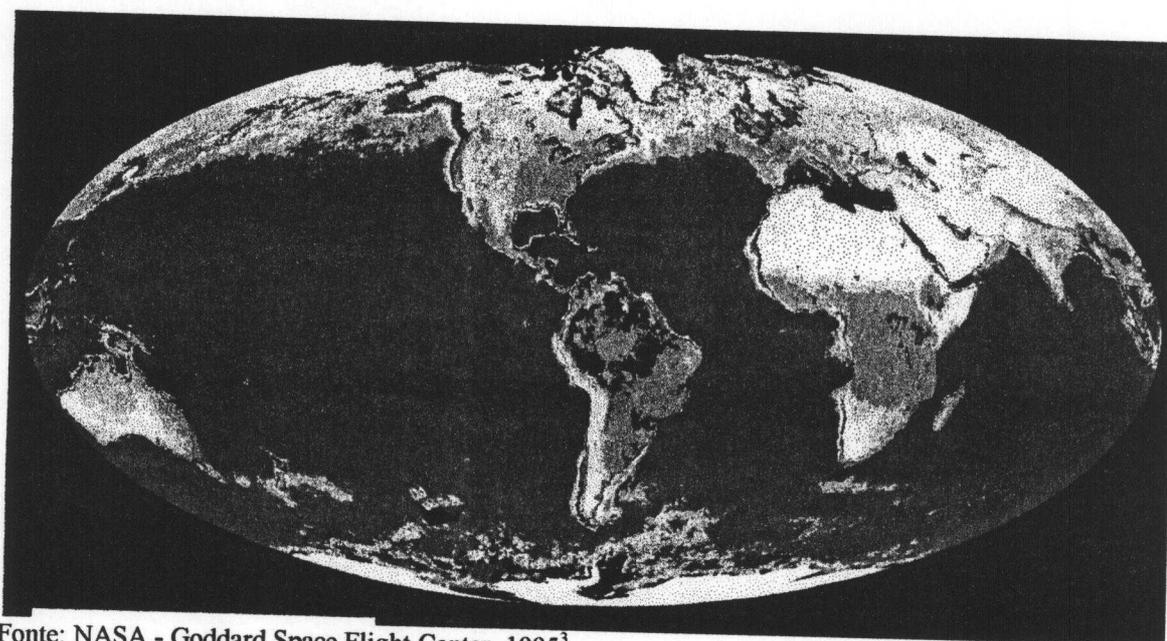
A Figura 1.1 é uma ilustração da biosfera global. Ela mostra a distribuição vegetal na Terra vista do espaço. As medidas da coloração oceânica indicam a distribuição e abundância de fitoplânctons nos oceanos do planeta. Os fitoplânctons são plantas microscópicas que crescem nas regiões com altos índices de radiação. São a principal fonte de alimentos para a maior parte da vida marinha e produzem a maior parte do oxigênio que respiramos.

O consumo de dióxido de carbono pelos fitoplânctons durante o processo da fotossíntese é fator fundamental para a compreensão do papel dos oceanos no ciclo global do carbono¹. O CO₂ (dióxido de carbono) é o gás mais abundante entre os gases

¹ Embora participe com apenas 4% da massa da Terra, a maior parte do carbono existente está contido nos materiais orgânicos e inorgânicos (rochas). Só uma pequena fração (0,04%) participa do ciclo atmosférico-biológico-oceânico que influencia a temperatura no planeta. O ciclo do carbono ocorre entre os cinco grandes reservatórios da Terra: a atmosfera, a biosfera (vegetação e solo), a camada superior dos oceanos (0-75m) e o oceano profundo. Cerca de 95% do carbono que participa do ciclo concentra-se, na forma dissolvida, nas profundezas dos oceanos. Em princípio, o oceano profundo poderia balancear o déficit de carbono entre os outros reservatórios, mas, por ele ser separado da camada

que contribuem com o efeito estufa², sendo responsável por mais de 50% deste efeito (Pinguelli, 1992). Aproximadamente 96% de todo CO₂ liberado na atmosfera tem origem natural, e os 4% restantes são produzidos pelo homem, a maioria, por queima de combustíveis fósseis e conversão do uso da terra. (deflorestamento e degradação do solo).

Figura 1.1: A Biosfera



Fonte: NASA - Goddard Space Flight Center, 1995³.

superior oceânica por uma termoclinal, o fluxo de carbono entre estas duas interfaces é muito baixo (Krause, 1989).

² Os gases que contribuem com o efeito estufa são o CO₂ (dióxido de carbono), o N₂O (óxido nitroso), e o CH₄ (metano), CFC's (cloro-fluor-carbonos), o O₃ (ozônio), e o vapor d'água (Pinguelli, 1992).

³ A parte dos oceanos foi montada a partir da composição de 66.000 imagens captadas, entre 78 e 86, pelo sensor CZCS (Coastal Zone Color Scanner) do satélite NIMBUS-7. Na água, o vermelho e o laranja indicam áreas de alta concentração de fitoplânctons. Amarelo e verde representam áreas de concentração moderada. Azul e violeta apontam as concentrações mais baixas. Na terra, o verde-escuro mostra as áreas com alto potencial de crescimento vegetal (florestas tropicais). As outras tonalidades de verde indicam áreas de florestas subtropicais, temperadas, pastos, e alguns outros tipos de vegetação seca, como os pampas e as savanas. As regiões com baixo potencial de crescimento vegetal, estepes semi-áridas e tundra, estão representados pelo amarelo escuro; e, os desertos de areia e de gelo, pelo amarelo claro.

A tabela 1.1 mostra a participação da quantidade de CO₂ e C produzida por fonte no ciclo do carbono.

Tabela 1.1: Contabilização Global do CO₂ e C produzido no Ciclo do Carbono

FONTES	10 ⁹ t CO ₂ / ano	10 ⁹ t C / ano	%
Natural			
oceanos	381 / (376-390)	104	60
terra	216 / (32-440)	59	36
Total natural	597 / (408-830)	163	96
Antropogênica			
uso de comb. fósseis	18 / (16-20)	5	3
conversão do uso da terra	7 / (0-10)	2	1
Total antropogênica	25 / (16-30)	7	4
Total geral	622 / (424-860)	170	100

Fonte: Krause, 1989, p.I.3 - 28.

Além de garantir condições para o suporte da vida em todo o planeta, os oceanos também são de importância vital aos seres humanos, do ponto de vista biológico, social e econômico. Cerca de 60% de toda população mundial vive na zona costeira, isto é, aproximadamente 3 bilhões de pessoas. As águas costeiras e oceânicas são regiões de alta produtividade primária (fitoplânctons) e, respondem por cerca de 90% das reservas de pescado do mundo. Delas, obtemos o oxigênio que respiramos, sal, água (dessalinização), peles, pérolas, alimentos (cerca de 90 milhões de toneladas de peixes e moluscos todos os anos), etc. Das ondas, correntes e marés, produzimos energia; do seu subsolo, extraímos minerais e óleo; e por fim, os ambientes marinhos nos propiciam fontes de turismo e lazer.

1.2. POLUIÇÃO MARINHA

O mar sempre nos exerceu grande fascinação e é, ainda hoje, a única fronteira na Terra a ser conquistada (Clark, 1986). Embora aparentemente indestrutível, surgem cada vez mais indícios de que a sua utilização como depósito de lixo da sociedade moderna está lhe causando graves perturbações: criaturas deformadas, pássaros mortos ou morrendo, presença de maré-vermelha (superpopulação de algas), redução da pesca, praias sem condições sanitárias de utilização, desaparecimento de animais nativos e áreas completamente desprovidas de vida, são evidências claras de que os mares e oceanos já estão na iminência de não suportar mais tanta agressão. Para Cousteau (apud Neal, 1992): “a saúde do sistema aquático global enraizada nos oceanos é vital ao futuro bem-estar do nosso planeta e, de meu particular interesse, como explorador. Os futuros anseios da sociedade só serão bem atendidos se mudarmos nossa mentalidade imediatista e, às vezes, nossa indiferença arrogante frente aos resultados de nossas ações, focando-nos em considerações de longo-prazo e adotando atitudes sanas no uso de todos os nossos recursos”.

A maioria dos cientistas envolvidos com poluição marinha e algumas organizações internacionais como o Grupo de Peritos das Nações Unidas em Aspectos Científicos da Poluição Marinha (GESAMP - Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution) ou a Comissão Internacional para a Exploração do Mar (ICES - International Commission for the Exploration of the Sea) consideram separadamente dois conceitos: contaminação e poluição.

Segundo Clark (1986), contaminação é a presença de concentrações elevadas de substâncias na água, sedimentos ou organismos, cuja presença superam os níveis naturais para uma determinada área e um organismo específico. E poluição marinha: a introdução pelo homem, direta ou indiretamente, de substâncias ou energia no ambiente marinho (incluindo estuários) que resulte em efeitos danosos para os recursos naturais e para a saúde humana, no impedimento das atividades econômicas como a pesca e o turismo, na diminuição da qualidade da água para seu uso, e na redução das belezas naturais.

A dimensão dos efeitos ambientais causados pela introdução de poluentes no mar não dependem, exclusivamente do volume e da composição do material despejado, mas sim, da interrelação desses e de uma série de outros fatores, como a localização geográfica e suas variáveis biológicas, oceanográficas, meteorológicas, etc. Em derramamentos de óleo, por exemplo, além desses fatores, as propriedades físico-químicas do óleo também são determinantes na magnitude dos efeitos gerados. Um dos maiores acidentes já ocorridos até hoje; a explosão do poço de petróleo Ixtoc I em 1979, no Golfo do México; lançou ao mar cerca de 530 milhões de litros de óleo durante 7 meses (Cracknell et al, 1983). Mas correntes marinhas e ventos oceânicos deslocaram as manchas para o mar aberto - evitando a contaminação da costa - onde estas, através de processos intempéricos (espalhamento, evaporação, dissolução, dispersão, emulsificação, sedimentação, bio-degradação e foto-oxidação) se desintegraram⁴. Por outro lado, o acidente ocorrido com o navio Amoco Cadiz em 1978, no Canal da Mancha, liberou, durante nove meses, 261 milhões de litros de óleo no mar, sujou centenas de quilômetros

⁴ Fonte: CD-ROM da Enciclopédia Grolier.

da costa da Inglaterra, causando um desastre ecológico cujos efeitos permaneceram por mais de uma década.

Segundo Barcellos (1986), pode-se classificar a poluição marinha em função das características de cada acidente: poluição crônica ou aguda. Diz-se que há uma poluição **crônica** quando há o lançamento de pequenas quantidades de poluentes no mar, continuamente. E **aguda**, quando grandes quantidades de poluentes são despejadas num espaço relativamente curto de tempo.

Entretanto, a caracterização eficiente da magnitude dos efeitos adversos ao meio ambiente causado pelos poluentes marinhos deve ser feita levando-se em consideração as seguintes questões:

- Onde, quanto e que tipo de substância foi despejada ou derramada?
- Qual o nível de contaminação na área que estamos interessados (em relação aos parâmetros físicos, químicos e biológicos, previamente definidos)?
- Quais as implicações que esses efeitos causam para a saúde humana, recursos alimentares, interesses comerciais, conservação da vida selvagem, ou aos ecossistemas em geral?
- O que está, o que pode e deveria ser feito a respeito para a remoção dos danos ou efeitos indesejados desse evento?
- A que custo?

Em comparação à poluição terrestre e dos recursos hídricos interiores, a preocupação mundial com a poluição marinha é considerada recente. No passado, a exploração dos oceanos estava única e exclusivamente ligada à expansão de nossos horizontes, e os efeitos adversos que poderíamos causar eram aqueles que afetavam-nos diretamente, através da pirataria e da guerra. Nessa época, a idéia de que as atividades humanas poderiam afetar o ambiente marinho simplesmente inexistiam. Os sinais de perigo, entretanto, estiveram sempre presentes. Tanto é, que no século XXI, as técnicas de captura e caça de animais marinhos nas costas da França e da Espanha pelos Bascos se desenvolveram com uma eficiência tal, que nenhum alvo individual, em qualquer lugar da superfície oceânica, estava fora de alcance dos baleeiros. Além disso, por volta de 1768, no Mar Bering, os últimos leões marinhos "Stellers", foram mortos e a espécie se tornou extinta em apenas 27 anos de caçada (McIntre, 1995).

Os indícios que deixamos da nossa capacidade de poluir os oceanos ganharam reforço e passaram a se destacar no cenário mundial a partir das primeiras décadas do século XX, quando os grandes veleiros começaram a ser substituídos pelos navios a vapor; o gelo passou a ser utilizado para a conservação dos pescados, e a expansão dos sistemas de distribuição permitiu levar a pesca, ainda fresca, aos mercados dos continentes. Essas mudanças aplicaram uma grande pressão nos estoques de peixes demersais⁵; e os desenvolvimentos mais recentes da pesca industrial - com técnicas acústicas de localização de cardumes - estenderam essa pressão, também, aos peixes pelágicos⁶. Nessa época, apesar de admitirmos estarmos depreciando as populações de

⁵ Termo aplicado a ovos e peixes que vivem próximos ao fundo oceânico.

⁶ Relativo ao pélagico. Região oceânica situada fora da zona litorânea.

peixes dos oceanos, ainda permanecíamos cegos com relação à capacidade de alteração das propriedades básicas dos oceanos pelas atividades antropogênicas.

Por volta de 1918, com a substituição dos navios a carvão pelos a óleo, os despejos de óleo no mar se tornaram ocorrências freqüentes, particularmente, nos portos. Esses despejos eram uma grande fonte de preocupação, principalmente, porque a Primeira Guerra Mundial ameaçava começar e os focos de incêndios atribuídos a esses despejos acabavam com todos os esforços de guerra da Europa Ocidental e dos Americanos. Para solucionar o problema foram introduzidas, em caráter urgentíssimo, regulamentações que impunham aos navios a obrigatoriedade de despejarem seus resíduos fora das áreas portuárias. Medidas que renderam resultados positivos, mas, que na realidade, apenas transferiram o problema de lugar, pois o óleo era derramado na entrada dos portos e acabava se espalhando pela costa, afetando, principalmente, os pássaros. Essa situação só foi normalizada 30 anos depois, com o estabelecimento de convenções e normas internacionais.

Entretanto, uma nova situação emergiu quando o Canal de Suez foi nacionalizado em 1956 e o tráfego de navios petroleiros para o ocidente aumentou. Usando rotas mais longas, os japoneses lançaram navios superpetroleiros (VLCC- Very Large Crude Carrier), que alguns viam como verdadeiras bombas flutuantes. Realmente, em 1967, o inevitável aconteceu quando o navio Torrey Cannon encalhou na costa da Inglaterra, liberando cerca de 120.000 t de óleo no mar. Esse episódio mudou, da noite para o dia, a atenção pública do óleo como poluente. As atenções, que anteriormente eram voltadas para problemas relacionados aos despejos operacionais, passaram a ser

focadas nos navios que transportavam grandes volumes de óleo. O problema, que antes preocupava apenas aos ornitologistas na defesa dos pássaros e mamíferos, passou a afligir também outros grupos, como os envolvidos com a pesca, a maricultura, o turismo, etc.

Os acidentes envolvendo grandes derramamentos de óleo no mar se tornaram rotina nas duas décadas subsequentes. Cada acidente era visto, pelos cientistas, como uma nova oportunidade para aperfeiçoarem seus estudos sobre o comportamento do óleo na água, seus impactos físicos e biológicos. E, apesar de estudos de longo-prazo mostrarem que os derramamentos, em determinados locais, podem persistir por anos, e sob certas condições por dezenas de anos, os acidentes com navios deixaram de ser a principal preocupação mundial. Por volta do final dos anos 80, ficou reconhecido, que de fato, as operações rotineiras contribuíam com a maior parte do volume de óleo introduzido nos oceanos, e representavam muito mais perigo às praias e aos pássaros do que a quota anual dos grandes acidentes.

A maior parte da poluição marinha, entretanto, tem origem em terra e inclui os subprodutos da indústria, águas contaminadas com pesticidas e herbicidas agrícolas e os efluentes urbanos. Essas substâncias entram no mar por diversas maneiras: através dos rios, das chuvas e dos ventos - não importa o tamanho da chaminé ou a sua distância do mar, 70% de tudo que emitimos para a atmosfera retorna diretamente aos oceanos (Heyerdahl, 1994). Atualmente, a principal preocupação mundial com o ambiente marinho está focado nas águas costeiras.

O incidente de Minamata⁷, em 1950 (Kutsuma, 1968 apud McIntyre, 1995), demonstrou que o descuido com o uso indevido do mar com depósito de lixo poderiam contaminar áreas marítimas, afetando peixes e causando morte aos consumidores humanos. A poluição marinha não respeita fronteiras pois depois de espalhada, também sofre alterações biológicas, físicas ou químicas e acaba se misturando aos sedimentos, à atmosfera e à biota (animais, plantas, plânctos, etc.) e pode ser transportada por ventos e correntes para qualquer ponto da Terra, longe dos estuários e baías do litoral. Nos testes de armas nucleares que lançam grandes quantidades de partículas radioativas na atmosfera e acabam se depositando sobre os oceanos, e no despejo de lixos radiativos das usinas nucleares. Muitos cientistas e engenheiros de vários países reconheceram que a ingestão de comida marinha provenientes dessas regiões, ou o contato direto com as águas contaminadas, causariam possíveis impactos sobre a saúde da população. Não bastasse isso, quase na mesma época, resíduos de compostos sintéticos, na sua maioria biocidas, passaram a ser detectados nas regiões mais remotas do planeta. Neal (1992), por exemplo, diz que alguns pingüins da Antártida têm apresentado traços de DDT, cujas possíveis origens encontram-se a milhares de quilômetros de distância.

Segundo Clark(1986), os tipos de materiais que entram nos mares resultantes de ações antropogênicas podem ser agrupados em:

⁷ O mercúrio utilizado em uma indústria de PVC era lançado na baía de Minamata, no Japão, e acabou contaminando a população que se alimentava de peixes e frutos do mar. Enquanto as concentrações de mercúrio na água era de 16 a 36 vezes mais alta que o normal, na carne dos peixes era de 1.000 a 10 mil vezes maior do que a detectada na água (Conti, 1991).

1.2.1. Materiais Orgânicos Degradáveis

A maior parte do volume dos despejos em regiões costeiras e em estuários é, de longe, composta por materiais orgânicos passíveis de ataques bacterianos. Os principais tipos de materiais que pertencem a esse grupo são:

- resíduos urbanos [segundo a World Resources (94-95), cerca de 1 bilhão de toneladas de lixo urbano são produzidas anualmente, a maior parte, pelos países desenvolvidos. Eles também são responsáveis, segundo a mesma fonte, pela produção anual de 300 milhões de toneladas de lixo tóxico, sendo que desse total, grande parte é exportada para os países subdesenvolvidos];
- resíduos agrícolas (fosfatos, nitratos e silicatos);
- resíduos derivados do processamento de alimentos (ex.: matadouros, frigoríficos e usinas de açúcar, destilarias e fábricas de bebidas fermentadas);
- polpa de papel moído, incluindo uma grande variedade de grandes moléculas que são relativamente instáveis e que se partem facilmente; e
- derramamentos de óleo [1000 toneladas de óleo podem ser decompostas em 2 ou 3 dias por bactérias⁸, que se desenvolvem numa faixa de temperatura de 15 a 45°C e duplicam-se a cada 2 horas. Como resultado, são geradas 700 toneladas de bactérias que podem ser reaproveitadas na fabricação de rações animais (Felleberg, 1980)].

Segundo a Agência de Proteção Ambiental da Suécia (SEPA, 1990), mais de 10 milhões de substâncias orgânicas já foram descritas, mas apenas uma pequena fração

⁸ *Arthrobacter* no caso do petróleo leve iraniano e *Pseudomonas* no caso de óleos pesados.

delas já foi utilizada na prática. Cerca de 300 mil são colocadas em uso a cada ano. Estima-se também, que entre 50 a 100 mil produtos químicos são usados no mundo todo. A maioria deles são compostos orgânicos. Na Suécia, por exemplo, existem cerca de 60.000 produtos químicos registrados. Desses, aproximadamente 75% são usados na indústria. O resto é usado, principalmente, na agricultura e nas residências.

A degradação bacteriana é, basicamente, um processo oxidante, no qual as bactérias **aeróbicas** se utilizam do oxigênio dissolvido na água para reduzir os compostos orgânicos em compostos inorgânicos estáveis como o dióxido de carbono (CO₂), a água (H₂O) e a amônia (NH₃):



Já as bactérias **anaeróbicas** são capazes de oxidar moléculas orgânicas sem a utilização do oxigênio (processo mais lento que o aeróbico), mas seus produtos finais incluem compostos como o sulfeto de hidrogênio (H₂S) e metano (CH₄), que têm um odor terrível e são tóxicos a vários organismos marinhos.

As bactérias são a base de muitas cadeias alimentares existentes no mar e, portanto, a adição de substâncias orgânicas representa um enriquecimento de nutrientes⁹ (nitritos e fosfatos) ao ecossistema.

⁹ Nutrientes não são poluentes, são encontrados principalmente em esgotos (N e P) (Neal, 1992), pg.67.

Se a taxa de introdução de matéria orgânica no mar exceder a taxa de degradação bacteriana - que depende da temperatura ambiente, da disponibilidade de oxigênio, das correntes marinhas e de outros fatores - haverá um **acúmulo** de matéria orgânica, que favorecerá, a princípio, as plantas, resultando num aumento da abundância de fito e zooplânctons, além de beneficiar inúmeras outras cadeias alimentares. Mas em contrapartida, se o acúmulo de nutrientes for excessivo, ocorrerá a **eutrofização** (ou estado hipertrófico¹⁰). No mar, a **eutrofização** é associada ao desenvolvimento da **maré-vermelha**, ou seja, um rápido aumento da população de fitoplânctons que faz com que o mar perca sua coloração original, ficando vermelho e, às vezes, amarelo ou marrom. A maré-vermelha é o resultado de um estado de **desoxigenação** local, causado por uma intensa ação bacteriana. Sob tais circunstâncias, a continuação do processo de degradação dependerá da ação das bactérias anaeróbicas. Tanto o acúmulo de materiais orgânicos, quanto a desoxigenação da água têm um grande impacto sobre a fauna e a flora. Um sinal típico de poluição nas praias é o aparecimento de algas verdes - espécies que se beneficiam do aumento de nutrientes na água - e; em ambientes com baixos níveis de oxigenação, o aparecimento de plantas macroscópicas que induzem várias espécies de peixes e determinados animais a desaparecerem. Na saúde pública, os principais problemas causados estão associados à contaminação de recursos naturais e à transmissão de patogêneses como o tifo e a cólera.

A composição química de quase todos os compostos orgânicos é extremamente complicada e diferentes constituintes requerem diferentes quantidades de oxigênio para

¹⁰ Hipertrófico é o melhor termo para descrever uma situação na qual o excesso de nutrientes está gerando um "stress" no ecossistema (Neal, 1992).

completarem a oxidação. Como é quase impossível descobrirmos a composição dos rejeitos e dos efluentes líquidos por análises diretas do material, são utilizados métodos indiretos, como o "Biochemical Oxygen Demand" (BOD) que mede a demanda de oxigênio total no processo de oxidação (degradação) de um determinado composto.¹¹ O BOD é o método mais utilizado para se medir os efeitos da poluição causada por efluentes orgânicos na água do mar.

1.2.2. Poluentes Conservativos

Diferentes dos poluentes degradáveis descritos acima, os poluentes conservativos não estão sujeitos ao ataque bacteriano nem a qualquer outro tipo de degradação¹². Pelo contrário, são bioacumulativos¹³ e biomagnificativos¹⁴.

Esses poluentes são, principalmente:

- os metais pesados como o mercúrio, o cádmio, o chumbo e o zinco;
- os hidrocarbonetos halogenados: inseticidas (DDT) e produtos químicos industriais do grupo dos PCBs (bifenilas policloradas);

¹¹ Para maiores informações consultar (Clark, 1986; p. 10).

¹² Algumas substâncias inclusas neste grupo podem sofrer a ação de bactérias a longo-prazo, mas para aplicações práticas são consideradas como substâncias de adição permanente ao ambiente marinho (Clark, 1986; p. 67).

¹³ Bioacumulação é o nome dado ao acúmulo de substâncias (inalteradas) no organismo de plantas ou animais que não têm a capacidade de regular a sua concentração. Por não serem expelidas, vão sendo continuamente adicionada ao organismo, ao longo de toda sua vida (Clark, 1986; p. 67).

¹⁴ Biomagnificação é o nome dado ao acúmulo de substâncias no organismo de animais que se alimentam de bioacumuladores. Os que mais sofrem com a biomagnificação são os predadores do topo da cadeia alimentar, como por exemplo: o homem (Clark, 1986; p. 67).

- a radioatividade.

(a) Os metais

Em geral, são constituintes naturais da água do mar. Derivados da erosão de minerais ou provenientes de erupções vulcânicas, muitos deles são de importância vital a vários organismos. A hemoglobina¹⁵, por exemplo, contém ferro. A hemocianina¹⁶, cobre, e várias enzimas, zinco. Biologicamente falando, qualquer metal pode chegar a uma concentração tal que seja tóxica a algum tipo de organismo. Nesse sentido, Clark (1986) separou os metais em três grupos: 1º) os dos metais leves (sódio, potássio, cálcio, etc.) normalmente transportados como cátions móveis em soluções aquosas; 2º) os dos metais transicionais como o ferro, o cobre, o cobalto, o manganês, etc., que são essenciais em baixas concentrações, mas tóxicos em altas; e 3º) os dos metais pesados, que são tóxicos mesmo a baixíssimas concentrações.

Segundo a Agência de Proteção Ambiental Sueca (1990), a toxicidade dos metais depende da maneira como ele é apresentado aos organismos é inversamente proporcional à sua ocorrência na natureza, ou seja, quanto mais abundante for o metal, menos perigoso ele será ao ambiente marinho. A Tabela 1.2 nos dá uma estimativa da concentração média e quantidade total de metais na água do mar, e as formas em que eles provavelmente existem.

¹⁵ Pigmento respiratório existente nos vertebrados e em alguns invertebrados (Clark, 1986; p. 82).

¹⁶ Pigmento respiratório existente nos moluscos e crustáceos maiores (Clark, 1986; p. 82).

A toxicidade de um metal a um determinado organismo pode ser determinada laboratorialmente expondo-se uma amostra desse organismo a uma concentração tal (medida em $\mu\text{g/g}$ ou p.p.m.) de toxinas e medindo-se o tempo necessário para que metade dos organismos da amostra morram (median letal time ou LT_{50}). O tempo letal médio dependerá da concentração de toxinas expostas ao organismo e, portanto, quanto maior for a concentração menor será o LT_{50} .

De acordo com a Agência de Proteção Ambiental Sueca (1990), a avaliação dos riscos ambientais associados à introdução de metais no mar, deve ser feita baseando-se em dados de como são produzidos e introduzidos no ambiente marinho, e em medidas de concentração feitas "in situ". Essa avaliação é influenciada, entretanto, por condições individuais de determinadas áreas, como por exemplo, a salinidade. Isso significa que determinadas áreas marinhas devem ser particularmente sensíveis a determinados metais. Além disso, deve-se dar especial atenção - com relação aos efeitos de longo-prazo - às áreas próximas às cidades costeiras e aos parques industriais.

Tabela 1.2: Concentração Média e Quantidade Total de Metais na Água do Mar e seus prováveis compostos

Metal	Fórmula	Concentração Média na Água do Mar (p.p.m.)	Espécies dissolvidas prováveis	Total nos Oceanos (milhões de toneladas)
Estanho	Sn	0.01	(OH)?	14
Cobalto	Co	0.02	Co ²⁺ , CoCl ⁺	27
Chumbo	Pb	0.03	PbCl ₂ , PbCl ⁺ , PbOH ⁺	41
Mercúrio	Hg	0.05	HgCl ₄ ⁻² , HgCl ₃ Br ⁻² , HgCl ₃ ⁻	68
Cádmio	Cd	0.05	CdCl ₂ , CdCl ⁺ , CdCl ₃ ⁻	68
Prata	Ag	0.1	AgCl ₄ ⁻³ , AgCl ₃ ⁻² , AgCl ₂ ⁻	137
Antimônio	Sb	0.2	Sb(OH) ₆ ⁻	274
Selênio	Se	0.45	SeO ₄ ⁻²	616
Cromo	Cr	0.6	(OH)?	822
Vanádio	V	1.5	H ₂ V ₄ O ₁₃ ⁺ , HVO ₄ ⁻² , VO ₃ ^{-?}	2060
Níquel	Ni	2.0	Ni ²⁺ , NiCl ⁺	2740
Manganês	Mn	2.0	Mn(OH) _{3,4} [?]	2740
Arsênio	As	2.3	HAsO ₄ ⁻²	3150
Cobre	Cu	3.0	CuCO ₃ , Cu ²⁺ , CuOH ⁺	4110
Ferro	Fe	3.0	Fe(OH) ₃ [?]	4110
Alumínio	Al	5.0	Al(OH) ₄ ⁻	6850
Zinco	Zn	5.0	Zn ²⁺ , ZnCl ⁺	6850
Molibdênio	Mo	10	MoO ₄ ⁻²	13700

Fonte: extraído de Clark, 1986; p.72.

(b) Os hidrocarbonetos halogenados

Ao contrário dos metais, os hidrocarbonetos halogenados, na sua maioria, não ocorrem naturalmente e abrangem uma vasta gama de compostos. Entre eles, destacam-se os compostos de baixo peso molecular (voláteis), que são produzidos em grandes quantidades como os solventes e os CFCs (Cloro-fluor-carbonos); os pesticidas e os PCBs (bifenilas policloradas).

Os solventes, geralmente utilizados na indústria têxtil, não são considerados como prioridade, pois não são acumulativos nos organismos marinhos. Os CFC's, por sua vez, causam a depreciação da camada de ozônio da atmosfera, e por isso, estão sendo paulatinamente extintos.

Os pesticidas (DDT - dicloro-difenil-tricloroetano, Aldrin, etc.) e os PCBs, são compostos de alto peso molecular utilizados, principalmente, na agricultura. São introduzidos ao mar via aérea ou fluvial, e por isso podem ser distribuídos pelo mundo todo. Extremamente insolúveis em água, mas solúveis em gorduras, esses compostos podem ser encontrados, de uma forma ou de outra, em todos os organismos marinhos (Clark, 1986).

(c) A radioatividade

A radioatividade é um fenômeno natural. A água do mar é naturalmente radioativa, principalmente, por causa da presença do potássio-40; de isótopos radioativos do urânio; do tório; e do hidrogênio do (trítio - ^3H), constantemente, introduzido pelos raios cósmicos.

Os radionucleotídeos pesados possuem pouca solubilidade na água, mas são absorvidos por materiais particulados e sedimentos. Portanto, mesmo apresentado uma baixa radioatividade na água, uma determinada área pode apresentar altos índices de radioatividade nos sedimentos.

A introdução de radioatividade no mar por atividades humanas começou no final da Segunda Guerra Mundial com a explosão das primeiras bombas nucleares. Hoje, as contribuições mais importantes são os lixos radioativos líquidos e sólidos das usinas nucleares e as águas de refrigeração dos reatores. Contribuições menores, como as causadas por acidentes com espaçonaves que são equipadas com baterias radioativas (plutônio), ou as contribuições dos navios e submarinos nucleares, dos rejeitos de hospitais e universidades, podem ser consideradas mínimas.

1.2.3. Poluentes Dissipativos

Os despejos industriais no mar e em estuários que têm a capacidade de perder rapidamente suas propriedades prejudiciais ao entrarem em contato com a água como resíduos das salinas e o calor dos reatores nucleares, são chamados de poluentes dissipativos. Qualquer efeito adverso resultante desse tipo de despejo se restringirá à uma área próxima à fonte, cujo tamanho, dependerá de fatores como a razão do despejo, sua composição, fluxo de correntes, etc.

As águas de resfriamento dos reatores das usinas nucleares, por exemplo, contém calor. Quando descarregadas no mar, chegam a, aproximadamente, 15°C acima da temperatura ambiente. Nesses casos, as áreas afetadas se limitam à distribuição das plumas de calor que podem tomar diversas direções dependendo das marés e correntes. Em países tropicais, durante o verão, muitos organismos passam a viver sob temperaturas próximas do ponto térmico letal e, portanto, um pequeno incremento na temperatura da água representa perdas substanciais de indivíduos.

1.2.4. Resíduos Sólidos

Dos resíduos sólidos, os que merecem destaque são:

- os materiais dragados em portos, rios e canais que, geralmente, precisam de dragagens periódicas para a manutenção da navegação. Esses materiais, muitas vezes, estão contaminados com metais pesados, hidrocarbonetos halogenados ou óleo. Quando lançados ao mar, acabam se espalhando;
- materiais particulados suspensos como a foligem provenientes das usinas a carvão;
- os plásticos e isopores, que apesar de não serem considerados tóxicos aos organismos marinhos, muitas vezes são ingeridos por pássaros, peixes e mamíferos que acabam morrendo;
- entulhos derivados de obras de engenharia no mar e na costa;
- redes de pesca, verdadeiras armadilhas para golfinhos e pássaros;
- as munições perdidas durante as guerras, incluindo armas químicas.

Os problemas ambientais costeiros que merecem prioridade variam amplamente de lugar para lugar, mas de uma maneira geral, são os despejos diretos urbanos (esgotos) e industriais (efluentes líquidos), que mais incomodam a população costeira (McIntyre, 1995).

O óleo, mundialmente, será sempre um problema, e, portanto, deve ser colocado bem no topo da lista de prioridades. A atenção, entretanto, deve ser voltada para os despejos das operações rotineiras dos navios, não se esquecendo, é claro, dos acidentes com petroleiros.

Os radionuclídeos, por outro lado, perderam um pouco da atenção que tinham por volta do anos 50. Mesmo assim, os depósitos antigos não declarados de lixo radioativo, ainda representam fonte de muita preocupação.

Os metais pesados sempre requisitarão um monitoramento constante no intuito de proteger a vida humana, mas atualmente, não parecem ameaçar diretamente o ambiente marinho. Exceto, em regiões com concentrações locais elevadas.

Outro ponto importante a ser considerado, é a adição constante de sedimentos que causam significantes alterações nos ecossistemas costeiros e são jogados em grandes quantidades no mar pela erosão dos rios (particulados), ou pela ação humana, através de dragagens nos rios ou no mar.

Mas, o problema atual que tem sido considerado como o mais importante é, sem dúvida, a exploração de recursos vivos.

Segundo o mesmo autor, existem ainda outros dois grandes problemas que tendem a ganhar mais atenção nos próximos anos. O primeiro, é o aquecimento global causado pelo efeito estufa - meteorologistas acreditam que o clima está se aquecendo lentamente como resultado do aumento da temperatura da Terra, por causa do aumento da concentração de gases "traço" na atmosfera. Uma Terra mais quente, significa um mar mais quente e, quando o mar aquece, ele expande. O nível do mar vem aumentando, em média, 3 milímetros ao ano, nos últimos anos. Projeções atuais sugerem um

incremento de 10 a 30 centímetros por volta do ano 2050. E, o segundo, é o crescimento populacional no litoral que deverá dobrar nos próximos 20 ou 30 anos.

Comparado aos problemas costeiros mundiais, o Brasil se encontra em uma posição relativamente confortável, porém delicada. Aqui, ao contrário dos países desenvolvidos, ainda não acabamos com nossos estoques de pescados, nem utilizamos nossas águas territoriais como depósito de lixo químico ou radioativo, muito menos produzimos as mesmas quantidades de resíduos industriais e urbanos quanto eles. Além do mais, as emissões de esgotos urbanos, efluentes líquidos e gasosos já contam com tecnologias de controle desenvolvidas, especialmente para empresas que se situam nos estuários onde funcionam indústrias poluidoras como na Lagoa dos Patos/RS, na Baixada Santista/SP, nas baías de Sepetiba e Guanabara/RJ, em Vitória e no Recôncavo Baiano.

O crescimento populacional desenfreado do litoral sem planejamento, a falta de fiscalização causada pela deficiência de infra-estrutura dos órgãos competentes e a ausência de recursos são fatos de uma realidade passada e presente que traçam o futuro de nossas águas costeiras. Um exemplo é o recebimento de resíduos químicos para reciclagem ou "disposição final" de indústrias estrangeiras, como o conhecido caso da deposição de pentaclorofenol e resíduos de dioxina nas cavas abandonadas de extração de sílica no vale do rio Cubatão e em São Vicente (litoral paulista) (INST/CUT, 1992).

Hoje, os principais problemas que ameaçam nossa costa são basicamente locais e estão relacionados, principalmente, aos despejos de efluentes urbanos (no Rio de Janeiro,

por exemplo, são lançados na baía de Guanabara 18 m³/s de esgotos sem tratamento); industriais (dejetos sólidos, compostos sulfurosos, metais pesados, etc.); ao assoreamento e disposição de resíduos sólidos; à destruição de habitats costeiros por obras de engenharia; aos eventuais acidentes intrínsecos aos processos produtivos nos polos cloro e petroquímicos localizados no litoral (cloro, ácido clorídrico, amônia, ácido sulfúrico, benzeno, gasolina, etc.); e, finalmente, à poluição atmosférica, como a emissão de óxidos de enxofre e nitrogênio, além da emissão de materiais particulado, com o decorrente aumento da ocorrência de chuva ácida, e hidrocarbonetos.

Entretanto, regionalmente e do ponto de vista energético, são os problemas ambientais associados ao ciclo energético do petróleo que mais chamam a atenção e são a principal fonte de "stress" do nosso litoral. É oportuno lembrar alguns episódios.

Em 1982, mais de cem pessoas morreram queimadas e muitas outras ficaram feridas e desabrigadas em consequência de um incêndio provocado pelo descarrilamento de vagões cheios de combustíveis, em Pojuca/BA. Em 1984, outros dois incêndios foram responsáveis pela morte de outras centenas de pessoas; um em Cubatão, na favela da Vila Socó, como resultado de um vazamento de gasolina de um duto nas águas do manguezal onde se situava a Vila; e o outro, na plataforma de produção de petróleo Enchova, na Bacia de Campos/RJ (INST/CUT, 1992). Mais recentemente, em 1994, 2.7 milhões de metros cúbicos de óleo vazaram para o mar, por causa do rompimento do oleoduto que liga o TEBAR (Terminal Marítimo de São Sebastião) ao terminal intermediário de Cubatão, formando manchas de óleo de se estenderam por mais de 35 km e que sujaram mais de 32 praias e ilhas da região.

Enquanto, a Petrobrás faz seu discurso pela qualidade total, enormes quantidades de petróleo e derivados continuam sendo lançados impunemente em nossas águas costeiras devido às atividades de produção, transporte, refino e consumo do petróleo. Sem contar, também, com os despejos clandestinos dos petroleiros que se utilizam das correntes marinhas do Brasil como caminho entre o Oriente Médio e os Estados Unidos, e as operações rotineiras de outros navios, como cargueiros, pesqueiros, transatlânticos, etc.; que se utilizam de uma situação de completa ausência de informação, fiscalização e vigilância costeira, para poluir nossa costa sem ter que arcar com nenhuma responsabilidade. A poluição por óleo representa, hoje para o Brasil, o mesmo problema que representava há alguns anos para os países desenvolvidos.

As fontes de poluição marinha por óleo são muitas e, cada uma delas exige medidas diferentes de controle. Os despejos de óleos industriais e urbanos e a poluição atmosférica, por exemplo, por chegarem ao ambiente marinho diluídos ou misturados à muitas outras substâncias, dificilmente são percebidos. Por isso, devem ser combatidos pela fonte, estabelecendo-se parâmetros de assimilação de rejeitos pelos rios e pela atmosfera, e aumentando-se a fiscalização nas possíveis fontes emissoras. Os grandes acidentes, as operações rotineiras em navios, portos e plataformas produtoras, e os despejos clandestinos no mar, por outro lado, exigem uma ampla estrutura interrelacionada baseada em mecanismos tecnológicos, logísticos e de decisão que é utilizada na prevenção e no combate aos derramamentos de óleo no mar.

Manter e incrementar a saúde da zona costeira significa melhorar a economia e qualidade de vida dos moradores litorâneos. Os problemas são bem conhecidos e, por isso, devemos combatê-los pela fonte, reduzindo o despejo de substâncias tóxicas; controlando as atividades de risco; e aumentando nossos conhecimentos sobre o ambiente marinho e os processos que regem o comportamento dos poluentes no mar, como a circulação oceânica, ciclos bioquímicos, relação dos sedimentos na água, interação entre as espécies, etc.

1.3. IMPACTOS AMBIENTAIS

Segundo Moreira (1989), o conceito de “impacto ambiental” foi introduzido no vocabulário mundial no final da década de 60 pelos instrumentos de política e de gestão ambiental, como fruto do pensamento de desenvolvimento sustentável emergente nos EUA e Europa, e da mobilização pública exigindo medidas eficazes para a proteção da saúde humana e dos recursos naturais contra os problemas ambientais decorrentes do desenvolvimento econômico.

Em realidade, a preocupação com os efeitos adversos ambientais derivados do uso industrial dos recursos naturais é muito mais antiga. Segundo Conti (1991), já em 1549, Giorgio Agricola escrevia acerca da atividade metalúrgica na Itália: “Um dos argumentos mais fortes dos detratores desta atividade é a devastação do campo; por isso a lei proíbe aos italianos escavar a terra para extrair dela minérios, danificando o campo fértil, os vinhedos e os olivais. Eles deploram que as árvores sejam derrubadas para a

construção de máquinas ou fundição de metais. O corte das matas leva ao extermínio das aves e outros animais que fornecem alimentos. A água utilizada na lavagem do minério, devolvida aos rios ou aos riachos, envenena os peixes e a caça. Conseqüentemente, os habitantes das regiões mineiras, devido aos estragos feitos no campo, nos bosques e rios, têm dificuldade para obter o necessário para viver”.

No final do ano de 1969 o governo dos Estados Unidos da América aprovou o “US National Environmental Policy Act” (NEPA), instituindo pela primeira vez a AIA (Avaliação de Impacto Ambiental). Nele consta a Declaração de Impacto Ambiental (Environmental Impact Statement) que estabelece: “todas as propostas e ações do governo federal americano que venham a afetar significativamente a qualidade do meio ambiente devem incluir uma declaração detalhada, contendo: os impactos ambientais; os efeitos adversos que não possam ser evitados; as alternativas de ação; a relação entre os usos dos recursos ambientais a curto prazo e a manutenção e a melhoria de sua produtividade a longo prazo; e, qualquer comprometimento irreversível ou irrecuperável desses recursos, caso a proposta seja implementada” (Moreira, 1989).

O emprego da AIA disseminou-se rapidamente, a princípio nos países desenvolvidos, em resposta a pressões sociais impulsionadas por conferências internacionais, como a “International Conference of Experts on a Scientific Basis for Rational and Conservation of the Biosphere” que aconteceu em Paris, em 1968, e a “United Nation Conference on the Human Environment” de Estocolmo, em 1972.

Nos países do terceiro mundo, a AIA começou a ser utilizada em função das

exigências impostas pelos agentes internacionais de cooperação econômica, cujos projetos por eles financiados deveriam levar em consideração estudos sobre diversas variáveis ambientais. No Brasil, a primeira avaliação de impacto ambiental foi realizada em 1972 durante o projeto de construção da barragem e da usina hidrelétrica de Sobradinho, financiado pelo Banco Mundial (Moreira, 1989). Apesar disso, segundo Sánchez (1994), as idéias relacionadas à degradação ambiental eram basicamente traduzidas pelo termo poluição ou pelo uso de termos como devastação para conotar processos de degradação ambiental referidos principalmente ao meio natural, tal como a supressão da cobertura vegetal nativa. O conceito de impacto ambiental passou a ingressar no vocabulário público brasileiro paulatinamente desde a implantação do instrumento de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) criado pelo Decreto nº 88.351/83 da Lei de Política Nacional do Meio Ambiente.

Para Sánchez (1994), até hoje, parece não existir um consenso em torno da definição mais adequada e correta do conceito de impacto ambiental. Segundo sua análise, as definições deste conceito variam de acordo com a formação e experiência de cada profissional : "... engenheiros tendem a ligar o conceito de impacto ambiental às conseqüências da implantação de projetos, enquanto que para os cientistas naturais, as causas das alterações ambientais classificadas como impacto em geral não são discutidas. Em contrapartida, as definições dadas pelos cientistas naturais tendem a explicar impacto ambiental em termos de mudanças de processos ou estruturas dos ecossistemas, explicação em geral ausente das respostas dadas pelos engenheiros. De um modo geral, há a predominância de um paradigma naturalístico que associa impacto ambiental às mudanças ocorridas no ambiente natural, deixando de lado alterações de cunho social,

alterações na qualidade de vida das populações humanas ou mudanças nos ambientes construídos.

Para Tommasi (1994), o conceito de impacto ambiental muda de acordo com o órgão ou entidade que o define, como é o caso do "Glossário de Ecologia da ACIESP (1987), que define impacto ambiental como sendo: "... toda ação ou atividade, natural ou antropogênica, que produz alterações bruscas em todo meio ambiente ou apenas em um de seus componentes. De acordo com o tipo de alteração, pode ser ecológico, social e econômico..."; ou ainda, a definição feita pelo CONAMA, através da Resolução Nº1, art.1º, de 23.01.86: "impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- I - a saúde, a segurança e o bem estar da população;
- II - as atividades sociais e econômicas;
- III - a biota;
- IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e
- V - a qualidade dos recursos ambientais.

A pesar dessa grande variedade de definições, o mesmo autor ressalta que esse conceito, como também o de poluição é, basicamente, um conceito antropocêntrico, isto é, baseia-se nos efeitos das ações humanas sobre os ecossistemas e envolve, também, os efeitos da mesma sobre a sociedade e sua economia.

Já para Sánchez (1994), impacto ambiental é a "alteração da qualidade ambiental

que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocados por uma ação humana”.

Para ele, a definição de poluição não reflete a abrangência que o termo impacto ambiental deve conter, pois o conceito de poluição tem sempre conotação negativa, enquanto que o conceito de impacto ambiental leva em consideração mudanças tanto negativas quanto positivas para uma determinada área e um determinado espaço de tempo. Outra grande diferença é a possibilidade de se medir a poluição e estabelecer padrões de assimilação do meio (padrões ambientais) através de grandezas físicas, permitindo assim, definir com clareza os direitos e responsabilidades do poluidor, do fiscalizador, bem como os da população. O conceito de impacto ambiental por outro lado, lança mão do conceito de qualidade ambiental, que deve ser descrita com a ajuda de indicadores “objetivos” (critérios) e apreendida ao nível de sua percepção pelos diferentes atores sociais. Ou seja, é um fator subjetivo, justamente porque diferentes atores sociais têm percepções distintas acerca da qualidade ambiental. Além disso, deve-se levar em consideração o estudo das interações entre esses indicadores, investigando os processos pelos quais a alteração em um deles vem a refletir nos demais.

Sob essa ótica, um outro termo associado ao conceito de impacto ambiental é, geralmente, utilizado em AIA's: o termo significância do impacto. Duinker (1986) relacionou uma série de critérios que deveriam ser incorporados no contexto, para se determinar a significância dos impactos ambientais. Esses critérios incluíam:

1. a magnitude do impacto;
2. extensão espacial do impacto;

3. duração do impacto;
4. probabilidade do impacto acontecer;
5. segurança nas previsões;
6. a existência de critérios (ou seja, padrões de qualidade do ar ou da água); e
7. a controvérsia envolvendo a proposta de desenvolvimento;

Para que tais critérios possam ter utilidade aos tomadores de decisão, devemos ainda considerar:

8. uma escala apropriada da magnitude para que seja possível a combinação de diferentes variáveis com consistência matemática; e
9. atribuir pesos às variáveis a fim de cada uma contribuir ao índice de impactos com sua relativa importância.

A maneira adotada pelos AIAs canadenses de classificarem a significância dos impactos previstos foi a de adotar uma escala de quatro categorias, definidas preliminarmente, sob bases ecológicas, cujas considerações incluíam: (1^ª) impactos principais: a proporção de uma população ou espécie afetada; (2^ª) impactos moderados: a habilidade da população de se recuperar; (3^ª) impactos menores: o número de gerações perdidas antes da recuperação acontecer; (4^ª) Impactos insignificantes.

Ainda segundo Duinker (1986), essa maneira de classificação torna-se falha, uma vez que não leva em consideração a qualidade relativística do termo significância, bem como alguns fatores dentro do contexto, tais como: (a) competição entre recursos; (b) sensibilidade ambiental; (c) sensibilidade social; e (d) a escala e taxa de desenvolvimento.

Foram, então, organizados encontros com profissionais da área para se restabelecer novos rumos sobre o conceito. Foi a partir daí que houve uma mudança do paradigma convencional para uma proposta baseada em quatro novas perspectivas:

- **Perspectiva estatística**

A perspectiva estatística baseia-se na determinação estatística (probabilidade de erros nas previsões) das diferenças significativas de variáveis previstas antes e depois (monitoramento) da implementação de um projeto.

- **Perspectiva Ecológica**

A perspectiva ecológica abrange assuntos específicos como: mudança do habitat de procriação, extinção local de espécies, perda de população, redução da variabilidade genética, redução da produtividade primária e perda de estabilidade do ecossistema. Para que houvesse um critério de julgamento organizado de “impacto significativo” foi estabelecido uma série de requerimentos para se conduzir os estudos dos impactos ecológicos, a saber:

1. identificação de atributos ambientais;
2. definição de um contexto no qual a significância das mudanças desses atributos ambientais possam ser determinados;
3. mostrar claramente aos limites e resolução de tempo e espaço;
4. desenvolver estratégias explícitas para investigação das interações entre o projeto proposto e os componentes do ecossistema;

5. declarar as previsões de impactos explicitamente e demonstrar as bases pelas quais eles foram derivados e;
6. demonstrar em detalhes os compromissos para o monitoramento dos efeitos do projeto.

- **Perspectiva Social**

A perspectiva social é centrada nos efeitos das ações humanas sobre o ambiente natural, físico ou social e envolve o julgamento de valores pela sociedade da significância ou importância desses efeitos. Tais julgamentos são sempre baseados em critérios sociais e econômicos, refletindo a realidade política da avaliação de impacto no qual a significância é traduzida na aceitabilidade e desejo público e, englobam:

1. a segurança e saúde da população;
2. a perda potencial de espécies comercialmente importante e da produção comercial disponível;
3. a importância estética e recreacional do local;
4. a preservação de espécies raras e em extinção;
5. a preocupação com o habitat das próximas gerações; e
6. a preocupação com o desbalanço entre suprimento e demanda de espécies e habitats dentro de um contexto local, regional e nacional.

- **Perspectiva do Projeto**

A perspectiva do projeto diz respeito ao julgamento da significância dos impactos

do ponto de vista decisório (coletivo, judicial ou político) e depende intrinsecamente das perspectivas estatística, ecológica e social. Em outras palavras, se um impacto representa estatisticamente uma alteração significativa de algum atributo socialmente ou ecologicamente importante, então, presumivelmente, esse impacto deve ser considerado significativo do ponto de vista do projeto e deve também ser levado em consideração durante o processo decisório de viabilidade desse projeto.

Para Duinker (1986), portanto, a necessidade em se estabelecer critérios para a determinação dos impactos significantes torna-se evidente, principalmente porque ele fornece as bases pelas quais os pesquisadores podem se orientar para desenvolver suas investigações.

Capítulo 2 - POLUIÇÃO MARINHA POR PETRÓLEO

2.1. FONTES DE INTRODUÇÃO DE ÓLEO NO MAR

2.1.1. Fontes Naturais

Desde que, a 280 milhões de anos atrás (Período Permiano), as primeiras jazidas de petróleo se formaram, ele vem sendo liberado naturalmente no mar. Ele entra naturalmente no ambiente marinho por dois processos principais: por escapes submarinos causados por processos geológicos tectônicos (terremotos, por exemplo), ou pela erosão de rochas sedimentares causada por rios ou correntes submarinas (lixiviação). Por isso, o petróleo já era conhecido pelos índios californianos, que o utilizavam principalmente na impermeabilização de canoas, bem antes da chegada dos Europeus, (Clark, 1986).

2.1.2. Fontes Antropogênicas

A sociedade moderna é dependente do petróleo e, por isso, ele é um grande negócio, que atualmente envolve cerca de 902,5 bilhões de dólares por ano¹. Mas, representa também uma das piores fontes de poluição, ao causar efeitos ecológicos de

1. ¹ Revista Fortune (julho/1993) - 500 Maiores Corporações Industriais do Mundo. O petróleo é identificado como o segundo maior ramo de negócio, tendo à frente apenas o ramo constituído por veículos à motor e acessórios, que envolve 940,4 bilhões de dólares por ano em vendas globais.

curta e longa duração e trazer prejuízos às atividades sócio-econômicas nos territórios atingidos. Por ser visível e pelas imagens sensacionais que gera, a poluição marinha por óleo é a que mais chama a atenção da mídia, principalmente quando oriundas de acidentes, como a explosão, em 1979, do poço de petróleo Ixtoc I, no Golfo do México, que lançou ao mar cerca de 500 mil toneladas de óleo durante 7 meses (Cracknell et al, 1983), ou as explosões de poços de perfuração e oleodutos no Golfo Pérsico durante operações de Guerra em 1991 (Guerra do Golfo), que liberaram cerca 1 milhão de toneladas de óleo.

Apesar de espetaculares e de receberem muita atenção pública, os acidentes representam apenas uma parcela do total de óleo derramado no mar. Segundo McIntyre (1995) a poluição crônica das operações rotineiras dos navios representa muito mais perigo ao meio ambiente que a poluição aguda dos acidentes. Entretanto, a preocupação com este último tipo não pode ser negligenciada, já que a cada ano - para se reduzir custos - aumenta-se o tamanho dos petroleiros e o volume de óleo transportado. Hoje, temos os VLCC (Very Large Crude Carrier), acima de 200.000 TPB, ou os ULCC (Ultra Large Crude Carrier), com mais de 400.000 TPB. Além disso, muitos petroleiros são registrados sob bandeiras de países que não são filiados à seguradoras internacionais, nem signatários das convenções internacionais para o combate à poluição marinha, como a Libéria, Bahamas, Chipre ou Panamá. Com isso, permitem navios mais antigos operarem sem a exigência de pagamento de taxas e o cumprimento de regulamentações internacionais.

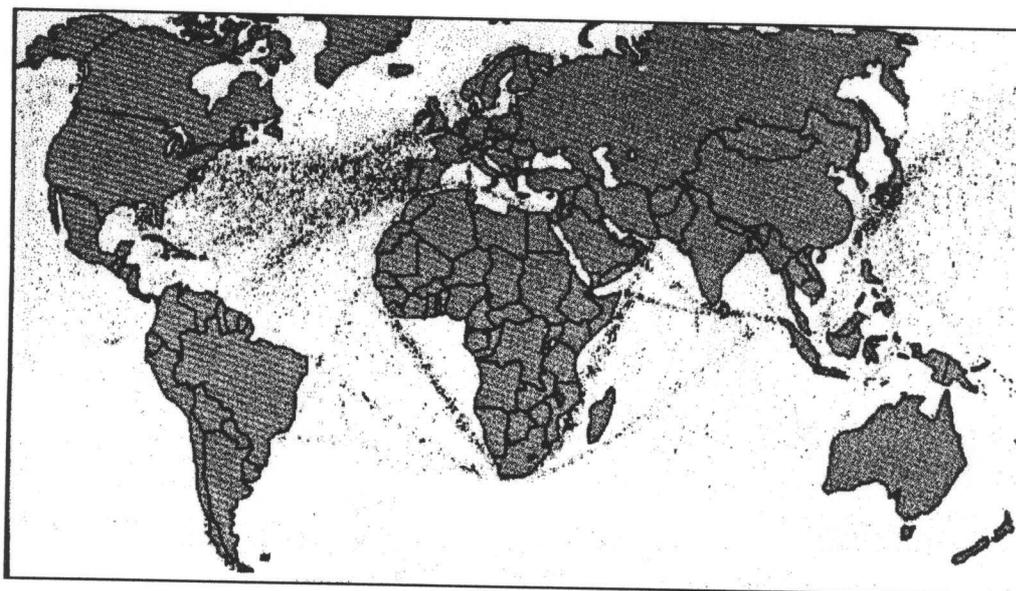
Desde 1974, a ITOPF (The International Tanker Owners Pollution Federation Limited) - organização criada, em 1968, para administrar o acordo voluntário entre os proprietários de petroleiros (Tovalop) e, dar assistência e treinamento às respostas de limpeza de derramamentos de óleo - vem mantendo um banco de dados com informações obtidas a partir de publicações especializadas, dos proprietários de petroleiros e de suas empresas seguradoras, de todos os derramamentos de óleo do mundo, exceto, aqueles resultantes de atos de guerra. Os derramamentos são divididos por volume de óleo derramado (<7 toneladas; 7-700 toneladas e >700 toneladas) e, desde 1974 até hoje, já contabilizaram mais de 10.000 incidentes.

A Figura.2.1 localiza os derramamentos registrados provenientes de acidentes, operações rotineiras em navios como lavagens de tanques ou despejo das águas de lastro; acidentes em plataformas off-shore; etc. Esse mapeamento trilha as principais rotas internacionais entre os maiores centros produtores (Oriente Médio, Nigéria, Venezuela e Indonésia) e consumidores de petróleo do mundo (EUA, Europa e Japão).

A quantidade de petróleo lançada nos mares e oceanos anualmente é difícil de ser estimada pela falta generalizada de dados causada pela omissão dos poluidores, ou pela incapacidade dos sistemas governamentais fiscalizadores e, portanto, os valores abordados são aproximados (Doerffer,1993). A Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos calculou em 1973 que 6,1 milhões de toneladas eram, anualmente, derramadas nos mares e oceanos. Para o Greenpeace², atualmente, esse valor flutua entre 6 e 7 milhões de toneladas de óleo. Já para Clark (1986), esse valor é de 5 milhões de

toneladas. Tanto Goldemberg (1995), quanto Doerffer (1993) estimam 3,2 milhões de toneladas. Teixeira (1994), por outro lado, aponta 2 milhões de toneladas.

Figura 2.1: Localização dos Principais Derramamentos de Petróleo no Mar



Fonte: Seager, J. (1990), *The State of The Earth*. p. 59.

Segundo o estudo intitulado “Impact of Oil and Related Chemicals and Wastes on the Marine Environment”, produzido pelo GESAMP e mencionado no “Marine Pollution Bulletin” (setembro, 1993), Independentemente do volume derramado, o importante, é que houve uma significativa redução da contaminação por óleo em escala global. Estimativas feitas em 1981, mostravam que 3,2 milhões de toneladas de óleo por ano entravam no ambiente marinho provenientes das mais diversas fontes; enquanto que, em estimativas mais recentes, feitas em 1990, esse valor foi bem menor: 2.35 milhões de toneladas.

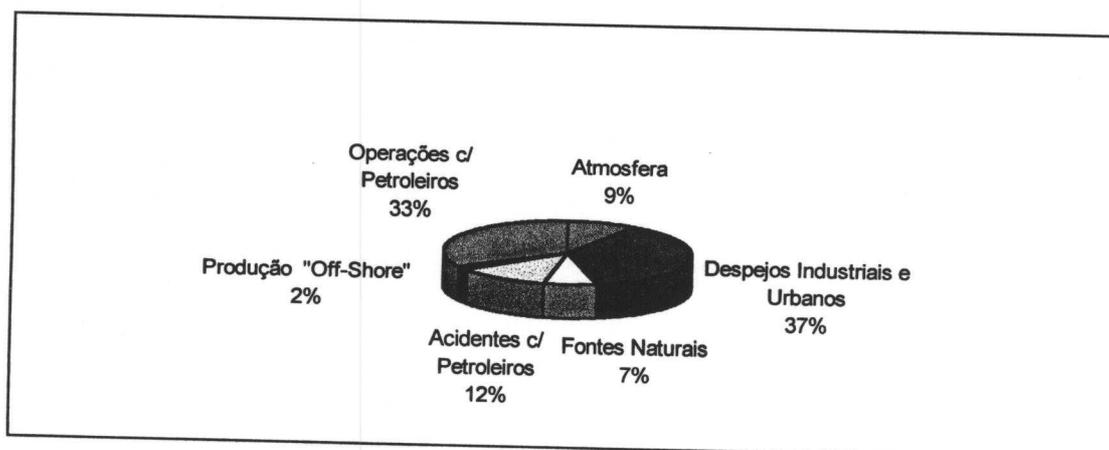
² Esses dados, quando anotados, o autor não tinha a pretensão de usá-los, mas eles se tornaram importantes posteriormente. Infelizmente a fonte não foi encontrada e, mesmo assim, acabaram inseridos no trabalho final. O autor pede desculpas ao leitor.

Apesar da significativa redução na quantidade de óleo introduzida no mar por atividades relacionadas ao seu transporte, outras causas significantes, como despejos industriais e urbanos têm sido subestimadas. Além dos acidentes e das operações rotineiras dos navios que, juntos representam 45% do total de óleo derramado anualmente e dos despejos industriais e urbanos que, por baixo, respondem por mais 37%, existem outras inúmeras formas pelas quais o óleo é introduzido no ambiente marinho, como acidentes operacionais nos portos, acidentes em plataformas de perfuração e produção de óleo, deposição atmosférica, vazamento de oleodutos e acidentes rodoviários, vazamentos em postos de combustível, etc., que, coincidentemente, têm acontecido com maior frequência em regiões onde as restrições regulatórias e a fiscalização são poucas, e as penalidades menos severas.

Embora haja um verdadeiro dissenso em relação à contribuição do volume de óleo derramado por fonte poluidora, a maioria dos autores concorda com a porcentagem relativa de cada uma delas. O Gráfico 2.1 mostra essa participação média relativa de cada uma das fontes e a Tabela 2.1 as melhores estimativas (em volume) da contribuição de cada uma delas.

O ambiente marinho, devido à sua vastidão, sempre absorveu a contaminação por petróleo causada por fontes naturais sem apresentar danos significativos aos organismos marinhos, mas o aumento desenfreado do consumo de petróleo pelas economias desenvolvidas alteraram significativamente esse quadro. A seguir serão apresentadas as principais causas responsáveis pela contaminação dos mares e oceanos por óleo no mundo.

Gráfico 2.1: Fontes de Introdução de Óleo no Mar por Porcentagem



Fonte: Goldemberg (1995), Doerffer (1993) e Botter (1994).

Tabela 2.1: Fontes de Introdução de Óleo no Ambiente Marinho

Fontes	Estimativa [10 ⁶ ton] Doerffer, 1993	Estimativa [10 ⁶ ton] Goldemberg, 1995	Varição Provável [10 ⁶ ton] Doerffer, 1993
Despejos Industriais e Urbanos	1.21	1.18	0.58 - 3.10
Refinarias	0.11		0.06 - 0.60
Efluentes Municipais e Industriais	0.90		0.50 - 1.80
Despejos em Rios e Urbanos	0.20		0.02 - 0.70
Deposição Atmosférica	0.30	0.30	0.05 - 0.50
Transporte	1.44	1.45	0.98 - 2.74
Águas de Lastro	0.70		0.40 - 1.50
Docagem p/ reparos	0.03		0.05 - 0.20
Operações em Terminais	0.02		0.01 - 0.03
Efluentes Casa de Máquinas	0.30		0.20 - 0.60
Acidentes com Petroleiros e não petroleiros	0.39		0.32 - 0.41
Produção Off-Shore	0.07	0.05	0.04 - 0.06
Naturais	0.23	0.25	0.025 - 2.50
Escapes Marinhos	0.07		0.02 - 2.00
Erosão sedimentar	0.16		0.005 - 0.50
Total	3.25	3.20	1.68 - 8.9

Fonte: Goldemberg (1995), Doerffer (1993).

2.1.2.1. Produção Off-Shore

Os impactos ambientais marinhos relacionados à produção de petróleo não são causados apenas pelos derramamentos de óleo. Eles começam logo no início das operações de exploração, cujas técnicas de perfuração sísmica utilizadas para a localização dos campos produtores causam grandes prejuízos às atividades de pesca comercial. Principalmente, àquelas que se utilizam de explosivos e matam grandes quantidades de peixes.

Além disso, a construção das plataformas petrolíferas, dutos e outras estruturas (pier, terminais, etc.), gera grandes quantidade de resíduos de concreto e aço que são jogadas ao mar, causando impactos físicos ao meio ambiente - modifica o padrão de ondas local, bem como das correntes marinhas, causa perturbações no assoalho oceânico e problemas de propulsão na navegação. Como medida de segurança, no Mar do Norte, foram introduzidas áreas de exclusão em volta das plataformas, onde a entrada de navios não petroleiros são proibidas.

Segundo Felleberg (1980), depois de identificado o campo, é possível que cerca de 1 milhão de toneladas de óleo escapem do poço, antes que ele seja devidamente perfurado, vedado e explorado e, apesar, de ocorrer longe da costa, essa poluição derivada das operações off-shore gera alterações da qualidade ambiental. Principalmente, o sufocamento do assoalho oceânico com alterações das comunidades bentônicas.

Neal (1992) e Clark (1986) dizem que são os acidentes as causas que mais poluem durante a fase de produção, mas enfatizam também, a participação das operações rotineiras, como o lançamento da lama de lubrificação³ e as lavagens do deck da plataforma pelas águas das chuvas. Nihoul e Ducroty (1994) por outro lado, mostram em seus estudos que entre 15 e 30% de todo óleo despejado no Mar do Norte, em 1990 (cerca de 19.080 toneladas), foi consequência de operações off-shore: desse total, 7% foi causado por derramamentos acidentais (acidentes e explosões), 21% por despejos das águas de produção e, 72% por sobras de operações de perfuração. Nesse ano, 193 plataformas de óleo e gás estavam em operação e 483 novos poços foram perfurados, 65% dos quais, com lubrificantes de base oleosa.

(a) Operações de Perfuração: ainda segundo Nihoul e Ducroty (1994), os resíduos resultantes das operações de perfuração são intensamente absorvidos por partículas sólidas e, por isso, permanecem por muito tempo nos sedimentos. Eles são formados basicamente por resíduos de rocha, óleo e lama de refrigeração das brocas de perfuração. Seu processo de degradação é lento, mas alguma porção fica sujeita à dispersão, que é influenciada pelo estado hidrológico do mar. Para se determinar a distribuição e dispersão das sobras de perfuração, são utilizadas medidas da concentração de bário nos sedimentos. Em função da grande quantidade de material gerado, os piores efeitos ambientais acontecem dentro de um raio de 500m da plataforma, e incluem o sufocamento do assoalho oceânico e as alterações no comportamento de comunidades bentônicas. Estudos, entretanto, demonstram que os níveis elevados de hidrocarbonetos

³ mistura de argila, aditivos químicos, água, etc.; injetada por bombas para manter a pressão do poço e evitar seu desmoronamento. É utilizada também para refrigeração e lubrificação das brocas e deter a subida do gás de petróleo.

e efeitos biológicos adversos podem ser encontrados a distâncias de até 10 km da plataforma. Embora não haja um consenso sobre a extensão e duração dos impactos, tem-se verificado um declínio, a partir de 1985, da quantidade de resíduos resultante das operações de perfuração. A introdução de técnicas mais avançadas de perfuração e a adoção de medidas regulatórias estabelecidas em convenções, fizeram com que a média de 75.8 t de óleo despejada por poço perfurado, em 1986, caísse para 39.2 t de óleo em 1990. Atualmente, o limite adotado no Mar do Norte é de 10 g de óleo para cada quilo de sobras de perfuração lançadas ao mar.

(b) Águas de Produção: durante a produção de óleo e gás são gerados efluentes líquidos (águas oleosas) que depois de sofrerem tratamento na plataforma para a remoção do óleo, são despejados no mar, ainda contendo uma fração de óleo dispersa na forma de minúsculas gotículas de alguns microns de diâmetro. Essas gotículas por serem muito pequenas, raramente alcançam a superfície depois que o efluente é despejado, mas, ocasionalmente, podem-se formar manchas. O limite estabelecido pela Comissão de Paris da quantidade de óleo permitida nos efluentes líquidos emitidos pelas plataformas é de 40 mg/l. Nessas quantidades, os efluentes se diluem rapidamente a grandes profundidades e o óleo disponível é facilmente biodegradado. Os efluentes líquidos, além de conterem óleo, também são compostos por quantidades significativas de materiais orgânicos não hidrocarbonatados, como sais acéticos e propiônico e, ácidos butíricos, além de hidrocarbonetos dissolvidos como o benzeno, tolueno e xileno.

(c) Derramamentos Acidentais: as conseqüências da poluição e o volume de óleo derramado acidentalmente variam muito. Em casos de explosões, grandes quantidades de

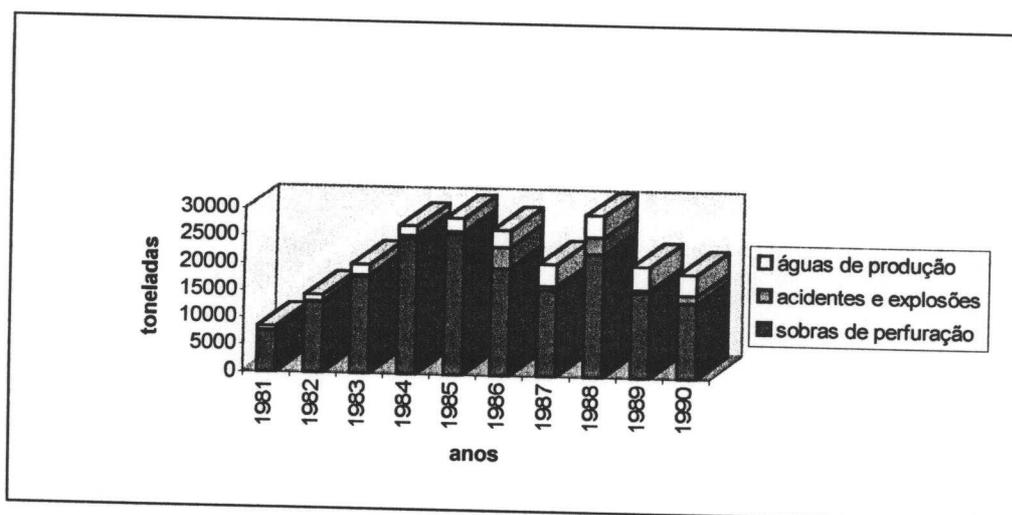
óleo podem ser despejadas durante meses, enquanto que acidentes operacionais, geralmente de pequenas proporções, envolvem volumes relativamente pequenos. Em 1990, foi estimado que a indústria petrolífera do Mar do Norte perdia 2 t de óleo para cada 100.000 t produzidas. Uma quantidade 30 vezes menor que o óleo perdido pelo setor transporte. Por considerarem as costas que circundam o Mar do Norte de alta sensibilidade a derramamentos de óleo, pela importância ecológica, social e econômica que representam, em 1987, as autoridades holandesas lançaram um programa de vigilância aérea sobre o Mar do Norte, que indicou que o número de derramamentos em volta das instalações excediam as estatísticas relatadas às autoridades. Esse programa de vigilância aérea foi, então, consagrado e estendido no “Acordo de Bonn” (que regulamenta a cooperação dos países membros no combate à poluição por óleo e outras substâncias nocivas no Mar do Norte) e, desde 1988, o sistema de vigilância aérea está em operação, num esforço conjunto dos países que circundam o Mar do Norte⁴.

O Gráfico 2.2 ilustra a evolução anual na década de 80 da participação de cada uma das fontes de poluição por óleo em operações off-shore, no mar do Norte.

⁴ Inglaterra, Holanda, Bélgica, Alemanha, Dinamarca, Suécia e Noruega.

Gráfico 2.2: Participação por Fonte de Poluição por Óleo em Operações

Off-Shore



Fonte: ITOPF (1986).

2.1.2.2. Transporte

No mundo, são consumidas anualmente mais de 3,2 bilhões de toneladas de petróleo. Aproximadamente, a metade (1,5 bilhão de toneladas) é transportada via marítima por cerca de 7.000 petroleiros (Goldemberg, 1995). São durante esses trajetos que ocorrem os principais incidentes que acabam em derramamentos de óleo no mar. Geralmente, eles estão associados à limpeza dos resíduos das cargas, que acontece entre o porto de descarga e o próximo, de carga; ou à limpeza prévia, por ocasião das docagens, descarga de águas oleosas e limpeza de porões e praças de máquinas (incluindo aí os navios de carga seca) ou; ainda, aos acidentes envolvendo petroleiros e demais navios não petroleiros (Araújo, 1995).

No mar do Norte, por exemplo, foi verificado um aumento de 11% no número de casos registrados de 92 para 93. Em 63% dos 673 casos confirmados, a fonte poluidora foi identificada. No entanto, operações rotineiras de vigilância aérea sobre as principais rotas marítimas, localizaram outras 652 manchas de óleo no mar, mas em apenas 2 desses casos, foi possível processar os culpados (Marine Pollution Bulletin, 1995).

(a) Acidentes com Petroleiros

Os derramamentos de óleo causados por acidentes são causados na sua maioria, por colisões, encalhes, danos estruturais no casco, fogo e explosões. Introduzirem grandes quantidades de óleo em um curto espaço de tempo e, por isso, requerem uma atenção toda especial. Mesmo assim, o transporte marítimo mundial é considerado uma atividade segura, pois 99.98% de todos os embarques chegam ao seu destino sem acidentes.

A Tabela 2.2 relaciona os maiores acidentes já ocorridos até hoje no Mundo. Alguns podem não ser tão familiares, uma vez que aconteceram longe da costa, e não implicaram em danos significativos ao meio ambiente, chamando assim, pouca atenção do público em geral.

Tabela 2.2: Principais Derramamentos Causados por Navios

NAVIO	ANO	Quantidade de Petróleo derramada (toneladas)	LOCALIZAÇÃO
1. Atlantic Express	1979	280.000	Costa de Tobago
2. ABT Summer	1991	260.000	700 milhas náuticas fora de Angola
3. Castillo de Beliver	1983	257.000	Fora da baía Saldanha, África do Sul.
4. Amoco Cadiz	1978	227.000	Costa da Bretanha, França
5. Haven	1991	140.000	Gênova, Itália.
6. Odissey	1988	132.000	Costa da Nova Escócia, Canadá.
7. Torrey Canyon	1967	119.000	Ilhas Scilly, UK.
8. Urquiola	1976	108.000	La Coruna, Espanha
9. Hawaiian Patriot	1977	99.000	300 milhas náuticas da costa de Honolulu.
10. Independenta	1979	93.000	Bósforo, Turquia.
11. Braer	1993	85.000	Ilhas Shetland, UK.
12. Khark 5	1989	80.000	120 milhas náuticas da costa de Marrocos.
13. Jakob Maersk	1975	80.000	Oporto, Portugal
14. Aegean Sea	1992	72.000	La Coruna, Espanha.
15. Katina P.	1992	72.000	Costa de Maputo, Moçambique.
16. Nova	1985	70.000	20 milhas náuticas da costa do Irã.
17. Wafra	1971	65.000	Fora do cabo das Agulhas, África do Sul.,
18. Assimi	1983	53.000	55 milhas náuticas fora de Muscat, Omã.
19. Metula	1974	53.000	Estreito de Magellan, Chile.
20. Exxon Valdez	1989	50.000	Alaska, USA.

Fonte: ITOPF (1995).

Para reduzir o número de acidentes e, conseqüentemente, a poluição causada por eles, a Organização Internacional Marítima (IMO) das Nações Unidas e outras entidades como a ITOPF, vêm produzindo uma série de Convenções e Regulamentações com o intuito de limitar os despejos operacionais e acidentais de óleo no mar como, a implementação de alterações nos projetos dos navios petroleiros, que devem adotar cascos duplos ou arranjos intermediários. Ou ainda, a obrigatoriedade da existência de um plano de contingência a bordo com a tripulação devidamente treinada. Essas convenções serão abordadas posteriormente no item 2.6.5.

De fato, o que se verificou após a Convenção Internacional para Prevenção da Poluição causada por Navios, de 1973, modificada depois pelo Protocolo de 1978 (MARPOL 73/78) foi uma significativa redução na quantidade de óleo introduzida no mar por atividades relacionadas ao seu transporte. Ela passou de 1.47 milhões de toneladas de óleo em 1981, para 0.57 milhões de toneladas em 1989.

(b) Lastreamento

Os petroleiros transportam suas cargas em diversos tanques ou compartimentos no interior do casco do navio. Depois que o óleo é removido, os tanques precisam ser rigorosamente limpos e cerca de um terço precisa ser enchido com água do mar para que o hélice do navio fique suficientemente submerso e garanta uma adequada capacidade de propulsão, governo e fluviabilidade. Esse processo é conhecido como lastreamento do navio. Até a década de 50, era prática comum limpar os tanques dos petroleiros através do uso de jatos de água salgada. Os resíduos oleosos eram removidos das paredes, resultando em uma mistura de óleo e água, que após sedimentar-se no fundo do tanque, era bombeada para o mar, abrindo, assim, espaço para uma nova carga. Esse problema foi combatido com medidas regulatórias, limitando a concentração do óleo na água (100 p.p.m.), a quantidade despejada por milha viajada (60 litros) e a proibição do lançamento no mar de óleo ou águas oleosas a menos de 50 milhas da costa. Em alguns casos, a menos de 100 milhas. Nessas condições, o óleo se dispersa rapidamente e não forma manchas. Apesar disso, essas medidas não surtiram o efeito esperado.

Foi introduzida, então, a tecnologia “load-on-top”: depois dos tanques serem lavados, a água oleosa resultante fica retida por um certo tempo e o óleo passa a flutuar na superfície d’água. A água é, então, devolvida ao mar e o óleo residual transferido para um tanque reserva (tanques “slop”). Os tanques vazios são enchidos novamente com água de lastro limpa e quando os navios chegam ao terminal, o novo óleo é carregado junto com o residual (no topo). Essa técnica apesar de reduzir, não elimina totalmente os despejos de óleo no mar face a enorme quantidade de óleo transportado no mundo todo.

Nos anos 70, surgiu uma nova tecnologia: a “COW” (Crude Oil Washing). Ao invés de água, as máquinas de limpeza passaram a usar o próprio óleo da carga, como fluido de limpeza. Os resíduos oleosos, aderidos às anteparas dos tanques, são dissolvidos quando jateados por jatos de óleo da própria carga, para serem, em seguida, descarregados junto com ela. Mas para que essa técnica seja viável, é imprescindível que as instalações de terra possam receber e tratar resíduos oleosos. Porém, existem alguns impecilhos que dificultam a adoção de tais medidas. Primeiro, o óleo residual não é utilizável pelas refinarias, o que impede que ele tenha um fim determinado e, segundo, porque sai muito mais barato para os navios jogar o óleo no mar, do que ter que pagar por tais equipamentos e serviços.

Os navios, por sua vez, passam a necessitar de tanques lastro segregado, que são compartimentos construídos exclusivamente para lastreamento⁵, e de equipamentos de jato que, ao invés da água do mar, utilizam o próprio óleo da carga para a limpeza das superfícies internas de seus tanques (Araújo, 1995).

(c) Operações em Terminais

Segundo o ITOPF (1986), a maioria dos acidentes causados devido às operações rotineiras nos terminais são de pequeno porte (quase 92% envolvem quantidades abaixo de 7 toneladas). As principais operações são:

Operações de Carga e Descargas. As operações de carga e descarga de óleo representam o maior número de acidentes com volumes pequenos. Acidentes desse tipo têm acontecido tanto por falha humana, quanto por falhas técnicas, como foi o caso do navio Docepolo, em 16 de outubro de 83, no Canal de São Sebastião (TEBAR-SP), quando houve falha na operação de bombeamento de óleo devido a perda de pressão das bombas, gerando refluxo na coluna de bombeamento e rompendo o acoplamento da ligação navio - terminal (CETESB,1983).

Docagem p/ reparos. Todos os navios - incluindo os petroleiros - necessitam de reparos periódicos, limpeza do casco e outros tipos de serviços de manutenção. Para evitar qualquer tipo de problema como, por exemplo, o perigo de explosões devido aos gases de petróleo acumulados, todos os tanques, inclusive o de combustível, devem ser esvaziados e limpos.

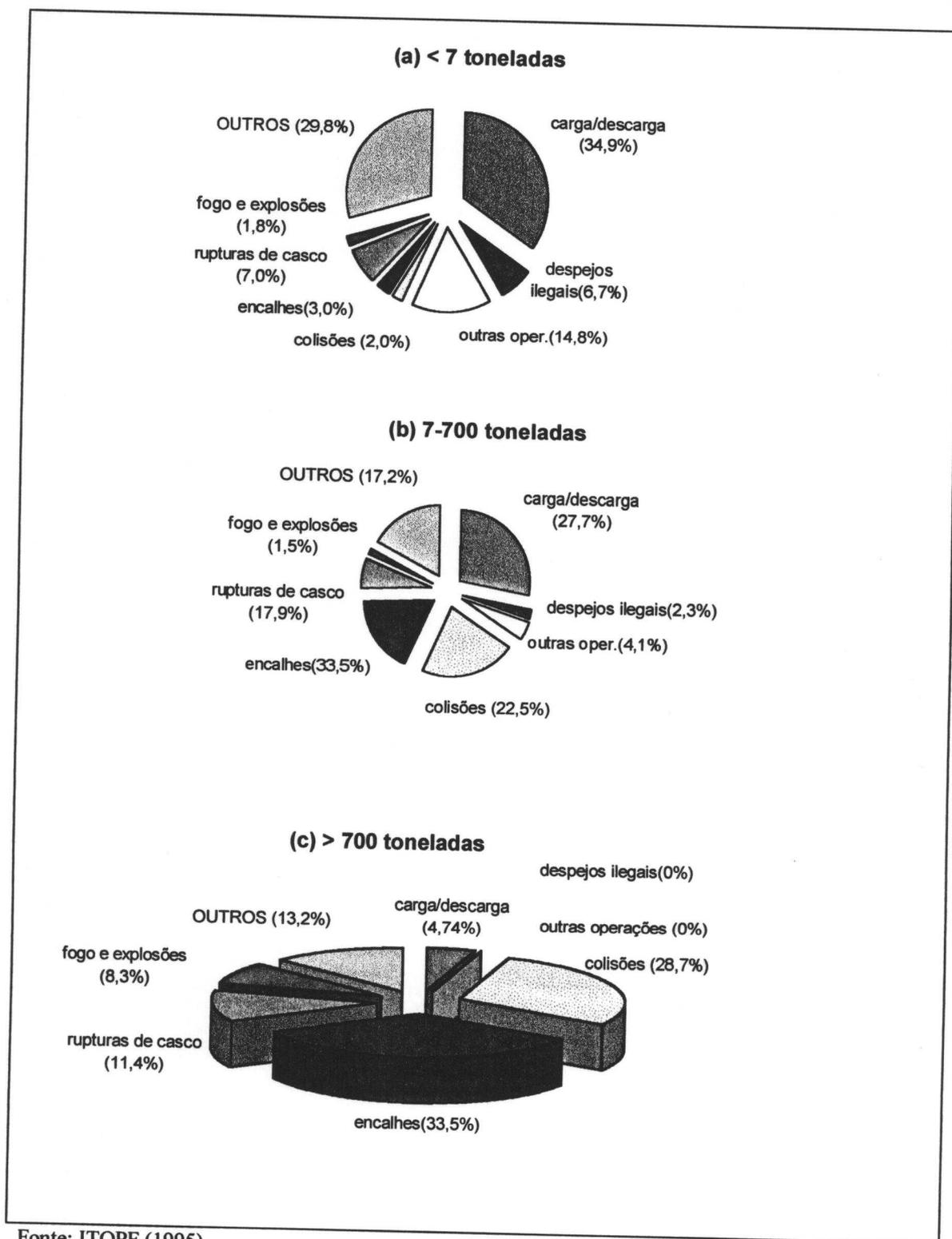
Efluentes Casa de Máquinas. É importante lembrar, que a poluição crônica, por menor que seja (por ex.: efluentes das casas de máquinas), deve ser levada em

⁵ Quando o navio estiver vazio, esses compartimentos são completados com a água do mar e conforme o

consideração, uma vez que mesmo contribuindo individualmente com quantidades insignificantes de óleo, quando somados todos os navios, o total que é adicionado ao mar é considerável.

Segundo a ITOPF (1986), a maioria dos acidentes são resultado da combinação de ações e circunstâncias e, por isso, sua análise abrange, apenas, a incidência de acidentes por categoria em função do principal evento ou operação em andamento na hora do derramamento. Veja os Gráficos 2.3 (a), (b) e (c).

Gráfico 2.3: Incidentes de Derramamentos de Óleo por Causa, 1975 - 1994



2.1.2.3. Refino e Consumo

De um modo geral, tanto no refino, quanto no consumo de petróleo, existem dois pontos principais a serem tratados. O primeiro é o lançamento de poluentes na atmosfera, principalmente SO_2 e NO_x . E o segundo é a emissão de efluentes líquidos derivados dos processos de refino e de produção nas indústrias, principalmente àquelas cujas localizações são próximas ao litoral. Os efluentes líquidos e gasosos industriais e urbanos entram no mar misturados à muitas outras substâncias e, portanto, não podem ser detectadas e combatidas com a metodologia proposta por essa investigação. Todavia, não podemos nos esquecer que estas são fontes significativas de poluição marinha e, como tal, devem ser combatidas com a adoção de medidas de controle de emissão por fonte e o estabelecimento de padrões de assimilação do meio ambiente.

No consumo, a combustão incompleta de combustíveis fósseis, principalmente da gasolina e do óleo diesel nos carros, caminhões e navios é a principal responsável pela incorporação de hidrocarbonetos de petróleo na atmosfera. Parte desses hidrocarbonetos sofrem oxidação fotoquímica e o restante é capturado pelas chuvas, contribuindo com os despejos dos rios ou caindo diretamente no mar. Nas refinarias a emissão de gases se dá tanto pela combustão de combustíveis e gases das tochas, quanto pela liberação das unidades de recuperação de enxofre, vazamentos de válvulas, das juntas de bombas e máquinas, dos sistemas de drenagem, e etc.

As refinarias mais antigas utilizam-se do processo de craqueamento a vapor, no qual a água entra em contato com o óleo e os efluentes inevitavelmente possuem altas concentrações de óleo na água, cerca de 100 p.p.m.. Em refinarias mais modernas, o óleo não entra em contato com a água. Pode-se, então, reduzir a quantidade de óleo nos efluentes para 25 p.p.m. Como as refinarias necessitam de grandes quantidades de água constantemente, esse montante de óleo despejado não pode ser desprezado (Clark,1986). Segundo Felleberg (1980), 1 litro de petróleo inutiliza 1 milhão de litros de águas subterrâneas. Novas tecnologias, entretanto, permitem que a água seja utilizada em regime fechado: além de não entrar em contato com o óleo, ela é reutilizada continuamente como em um radiador de carro.

Segundo o GESAMP, apud Marine Pollution Bulletin (setembro,1993), os valores das quantidades de óleo despejadas por fontes baseadas em terra têm sido subestimados, face às grandes concentrações de óleo encontrados nas áreas costeiras fechadas e semi-fechadas, principalmente àquelas próximas à regiões costeiras industrializadas e de intensa atividade petrolífera. Dependendo do tipo de indústria, os efluentes podem conter, além de consideráveis quantidades de óleo, outros tipos de rejeitos formando compostos que, quando despejados no mar, constituem uma fonte importante de poluição (Clark,1986).

No Pólo Petroquímico de Camaçari, no Recôncavo Baiano, por exemplo, além dos riscos associados à produção e ao refino do petróleo, temos também os riscos relativos à sua utilização e distribuição: o intenso tráfego rodoviário e ferroviário de derivados de petróleo e de produtos químicos leva à multiplicação dos acidentes - um dos acidentes

mais graves ocorreu em 1982 em Pojuca, quando o vazamento de vagões descarrilados de um comboio de combustíveis acabou provocando incêndios nos arredores da ferrovia, com quase cem mortos e dezenas de feridos. E, Em abril de 1992, vazaram para a Baía de Todos os Santos, 48 mil litros de óleo da fábrica de asfalto Madre de Deus. Não bastasse isso, ao chover, os óleos que são derramados por carros e caminhões nas garagens, rodovias e postos de gasolina são levados até os rios e, conseqüentemente, alcançam os mares. Associados aos derramamentos de óleos, são freqüentes no Pólo, os vazamento de cloro, ácido clorídrico, fosgênio, amônia, ácido sulfúrico, benzeno, metais pesados e a eliminação de dejetos sólidos (INST-CUT, 1992).

2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO PETRÓLEO

O petróleo quando derramado no mar se espalha formando uma mancha, de espessura variável (de milímetros a micrômetros), que se deslocará em função da velocidade e direção dos ventos e correntes marinhas. A mancha em seu percurso em direção à costa ou ao alto mar sofrerá uma série de processos, chamados processos intempéricos, como a evaporação, oxidação, dispersão, emulsificação, biodegradação e sedimentação, que, por sua vez, são influenciados por outros fatores como o estado do mar e do clima, a presença de bactérias e materiais particulados suspensos na água, e, principalmente, das propriedades físico-químicas do óleo derramado. Num dia de sol, por exemplo, o processo de evaporação será intensificado fazendo com que as frações mais voláteis do óleo rapidamente evaporem. Num dia de chuva, entretanto, os processos de dispersão, emulsificação e sedimentação se tornarão mais expressivos em detrimento do

primeiro. Conhecer as características físicas e químicas do óleo permite aos tomadores de decisões dos planos de contingência preverem o comportamento e o destino da mancha. Com isso, cria-se maiores probabilidades de serem adotadas medidas de resposta e controle mais eficazes e num espaço de tempo muito menor. Garante-se, também, um volume maior de óleo recuperado, a minimização dos impactos ambientais causados e a redução dos custos de operação.

2.2.1. Hidrocarbonetos de Petróleo

Hidrocarbonetos de Petróleo são compostos orgânicos formados exclusivamente por átomos de carbono e hidrogênio e são subdivididos em 4 subclasses básicas (bases), segundo o arranjo estrutural de seus átomos.

(a) **Alcanos ou Hidrocarbonetos Parafínicos**, são hidrocarbonetos acíclicos e saturados, isto é, têm cadeias abertas ramificadas ou não e só apresentam ligações simples entre os átomos de carbono (Fig. 2.2 (a)). Têm como fórmula geral C_nH_{2n+2} onde n é um número inteiro. Sua nomenclatura é caracterizada pela terminação **ano** (metano, etano, propano, butano, octano) e representam a maior parte da constituição do gás natural e do petróleo. Alcanos de até 5 átomos de carbono por molécula são, geralmente, gasosos; aqueles que têm de 5 a 15 átomos são líquidos; e os que apresentam mais de 15, são sólidos.

(b) **Naftalenos**, são caracterizados por cadeias cíclicas de ligações simples (saturada) e cuja fórmula geral é C_nH_{2n} . São insolúveis em água e, geralmente, fervem entre as

temperaturas 10° e 20° C, temperaturas superiores às dos alcanos com o mesmo número de átomos de carbono.

(c) **Aromáticos**, são definidos como sendo os hidrocarbonetos que possuem um ou mais anéis benzênicos, ou seja, anéis contendo 6 átomos de carbono (Fig. 2.2 (c)). O benzeno é o aromático mais simples e a maior parte dos outros aromáticos são derivados dele. Os aromáticos são considerados os mais tóxicos dos hidrocarbonetos e são solúveis em água, o que representa maior perigo aos organismos marinhos.

Alquenos, são caracterizados pela presença de átomos de carbono unidos por ligações covalentes duplas (Fig. 2.2 (d)) e pela fórmula geral C_nH_{2n} . Alquenos contendo de 2 a 4 átomos de carbono são gases à temperatura ambiente, enquanto que os que contêm mais de 5 são geralmente, líquidos. Apesar de não existirem no óleo bruto, os alquenos são formados em larga escala quando o óleo é craqueado. São mais tóxicos que os alcanos, porém menos que os aromáticos.

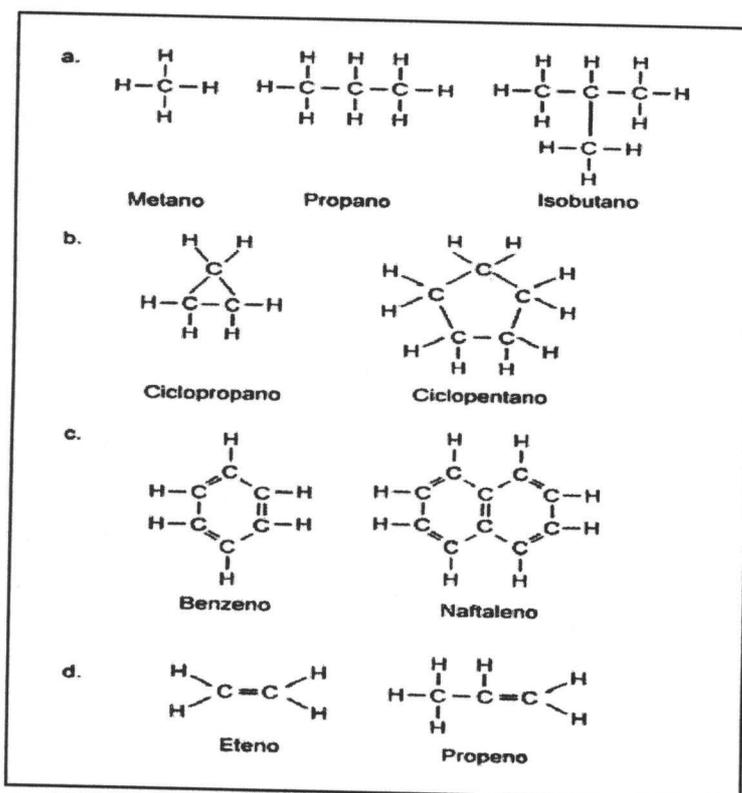
2.2.2. Tipos de Petróleo

Segundo Doerffer (1992), todo petróleo em estado natural é formado, quase que exclusivamente, por misturas de hidrocarbonetos e, em proporções bem menores (até 25%), de compostos oxigenados, nitrogenados, sulfurados e metais pesados (contaminantes). Sua composição e aspecto variam (desde gases altamente voláteis até sólidos viscosos e pesados) em função da formação geológica do terreno de onde foi extraído e da natureza da matéria orgânica que lhe deu origem.

Para Feltre (1988), de um modo geral, os petróleos podem ser classificados segundo as concentrações das bases presentes.

- a) de base parafínica - quando predominam (até 90%) os alcanos;
- b) de base asfáltica - quando predominam os hidrocarbonetos de massa molecular elevada e que, quando craqueados, produzem grandes quantidades de óleo combustível e de asfalto (acima de 20% e 1,5%, respectivamente);
- c) de base naftalênica - quando, além dos alcanos, há até 15 ou 20% de naftalenos;
- d) de base aromática - quando, além dos alcanos, há até 25 ou 30% de hidrocarbonetos aromáticos.

Figura 2.2: Estrutura de hidrocarbonetos típicos: (a) alcanos; (b) naftalenos; (c) aromáticos; (d) alquenos



Fonte: Extraído de Doerffer (1992), p.10.

As diferentes concentrações de seus constituintes determinam as propriedades físico-químicas dos óleos, que são alguns dos parâmetros utilizados para sua classificação comercial (Tab.2.3). Conhecer tais características é de fundamental importância para se saber a qualidade, seus respectivos rendimentos⁶, a quantidade de impurezas e o seu comportamento no mar quando derramado (riscos ambientais).

Em relação ao combate de derramamentos de óleo, a classificação do óleo cru é feita baseando-se no comportamento do espalhamento esperado da mancha de óleo no mar (Tab.2.4). Esse tipo de classificação é muito útil para se determinar o método de limpeza e os equipamentos a serem utilizados nos planos de contingência. No grupo 1. são reunidos os tipos de óleos que possuem ponto fluído acima da temperatura da água do mar local (aproximadamente 10⁰C) e que se solidificam rápido sob determinadas condições ambientais - temperatura ambiente baixa e condições climáticas adversas. Nesse caso, a utilização de dispersantes - comum no combate aos derramamentos de óleo no mar - fica restrita às primeiras horas após o evento ter acontecido, sendo portanto, necessária a incorporação de outros métodos de controle como o emprego de materiais absorventes e demulsificadores. Para a maioria restante dos óleos que possuem ponto fluído abaixo dessa temperatura de referência, o espalhamento será muito rápido e a classificação se baseará não mais no comportamento do espalhamento da mancha, mas sim, na quantidade esperada de perdas por evaporação. Óleos pesados tornam-se sólidos quando sua temperatura é abaixada pela temperatura da água, enquanto que óleos leves, como a gasolina, se espalham rapidamente e permanecem líquidos durante todo o

processo de deriva. Por fim, é preciso fazer uma classificação complementar para esses grupos, determinando os tipos que são esperados a se solidificarem ou não durante o processo de deriva da mancha (óleos que possuem frações de hidrocarbonetos com ponto fluído acima e abaixo da temperatura da água).

Tabela 2.3: Especificação dos tipos de Petróleo

Categoria	País	Tipo	Grav.Espec. (kg/l)	Viscosidade cS à 38°C	Ponto Fluído °C
Parafínicos	Líbia	Es sider	0.841	5.7	9
	Líbia	Líbio	0.846	12.7	21
	Líbia	Sarir	0.847	11.9	24
	Nigéria	Nigeriano leve	0.844	3.6	21
	Inglaterra	Argill	0.833	3.2	9
	Inglaterra	Auk	0.837	5.7	12
	Inglaterra	Beatrice	0.835	8.1	27
Naftalênicos	Quatar	Quatar	0.814	2.5	-18
	Quatar	Quatar Mar.	0.839	4.1	-12
	Argélia	Zarzaitini	0.816	4.6	-15
	Irã	Iraniano leve	0.854	6.6	-4
	Irã	Iranian.pesado	0.869	10.2	-7
	Inglaterra	Andrew	0.827	3.3	-12
	Inglaterra	Brent	0.833	4.6	-6
Aromáticos	Kwait	Kwait	0.869	10.6	-17
	Arábia Saud.	Arábico leve	0.851	5.4	< -30
	Arábia Saud.	Arábico médio	0.874	9.7	-15
	Arábia Saud.	Arábico pesado	0.887	19.1	< -30
	Venezuela	Tia Juana Médio	0.900	16.8	< -30
Asfálticos	Venezuela	Bacchaquero	0.978	1280.0	-15/7
	Venezuela	Tia Juana Pesado	0.980	2983.0	-3

Fonte: Extraído e adaptado de Doerffer (1992) ; p.13.

⁶ quando refinado, petróleos leves dão elevado rendimento em GLP - gás liquefeito de petróleo - de gasolina e óleo diesel e, petróleos pesados dão alto rendimento em óleo combustível e asfalto

Tabela 2.4: Classificação do Petróleo segundo o Comportamento do Espalhamento e Perdas por Evaporação

Grupo 1 Ponto Fluído > 5 - 10 °C	Grupo 2 Perdas por Evaporação 0 - 20% (vol.)	Grupo 3 Perdas por Evaporação 20 - 40% (vol.)	Grupo 4 Perdas por Evaporação 40 - 50% (vol.)	Grupo 5 Perdas por Evaporação > 50% (vol.)
Agryll Auk Brega Dunlin Gamba Nigeriano leve Sarir	Pf 200+ > 5-10°C Tia Juana Pesado Holandês Oeste	Pf 200+ < 5-10°C Arábico Leve Export Campeão Nigeriano Médio <u>Pf 200+ > 5-10°C</u> Maia	Pf 200+ < 5-10°C Arábico Leve Arábico Médio Dinamarquês Dubai Iraniano Leve Kwait Nigeriano Export Blend Omã Ural <u>Pf 200+ > 5-10°C</u> Bucan Es Sider Forties Iraniano Pesado Golfo	Pf 200+ < 5-10°C Zakum <u>PP 200+ > 5-10°C</u> Abu Dhabi Brent Spar Ekofisk Nigeriano Leve Mobil Quatar Marinho Saara Blend Statfjord

Fonte: Doerffer (1992), p.14.

Alterações nas características e propriedades (principalmente a densidade) do óleo devido aos processos intempéricos, fazem com que ele fique mais pesado, viscoso e com um aumento da tendência de formar emulsificações estáveis. Tais mudanças são utilizadas para rastrear possíveis fontes poluidoras através de técnicas analíticas de identificação. As mais comuns são:

- cromatografia de gás ou gás/líquido a altas temperaturas. Isso nos permite obter a distribuição exata de hidrocarbonetos, tanto para os óleos alterados pelas intempéries, ou não;
- ♦ absorção atômica (espectroscopia de emissão) , usado principalmente para localizar metais pesados como o vanadium, níquel, etc.;

- ◆ espectroscopia de massa, utilizado em conjunto com a cromatografia de gás;
- ◆ espectroscopia infravermelha para a identificação de ligações C-C ou de outros átomos;
- ◆ fluorescência de raio-X. O enxofre e metais pesados possuem respostas peculiares para essa radiação e são facilmente mapeados por essa técnica.

As características físicas e químicas que influenciam tanto o comportamento do óleo no mar, quanto a eficiência das operações de limpeza, são medidas sob condições de temperatura e de pressão padronizadas e, incluem:

2.2.3. Gravidade Específica

É a divisão de um dado volume de um corpo pelo peso do mesmo volume de uma substância padrão. Para o caso do óleo a substância padrão é a água destilada. A gravidade específica dos óleos é a medida de sua densidade e pode ser obtida através de um hidrômetro. Todos os óleos apresentam gravidade específica menor que 1.00, com exceção de alguns óleos crus pesados e alguns óleos combustíveis residuais. Após o derrame, o óleo, em função do constante intemperismo (as frações mais voláteis evaporam), chegam a alcançar gravidades específicas maiores que 1.00 e afundam.

Para a classificação comercial é utilizada a gravidade API, ou seja, uma escala desenvolvida pelo American Petroleum Institute que expressa a razão dos pesos de volumes iguais de óleo e água destilada a uma temperatura ambiente de 16°C e pressão

de uma atmosfera. Água com gravidade específica de 1.00 tem gravidade API de 10°C.

A gravidade API pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$\text{API}^\circ = (141.5 / \text{grav. espec. a } 16^\circ\text{C}) - 131.5 .$$

À medida que a gravidade específica do óleo diminui, a sua gravidade API aumenta. Conseqüentemente, sua viscosidade e propriedades de adesão diminuem e as tendências a emulsificação aumentam. Óleos com alto grau API contém grandes proporções de hidrocarbonetos de gasolina. Quando derramados no mar, geralmente, são combatidos com dispersantes químicos.

2.2.4. Tensão Superficial

É a força de atração entre as superfícies das moléculas de um líquido. Ela, junto com a viscosidade, determinam a razão de espalhamento de um líquido na água ou no solo. Óleos com gravidade específica baixa, geralmente apresentam razão de espalhamento alta. O aumento da temperatura significa diminuição da tensão superficial e, conseqüentemente, o aumento do espalhamento da mancha de óleo.

2.2.5. Viscosidade

É a propriedade que um fluido tem (gás ou líquido), pela qual ele resiste à mudança de forma e ao movimento. Quanto mais baixa for a viscosidade, com maior facilidade o gás ou o líquido flui. A viscosidade varia em função da quantidade de frações leves de hidrocarbonetos presentes no óleo e da temperatura ambiente. Portanto, para óleos

intemperizados, a viscosidade aumenta em função da perda de frações leves e peso molecular baixo. O aumento da temperatura significa diminuição da viscosidade. A viscosidade influencia diretamente a razão de espalhamento da mancha derramada, as propriedades de adesão do óleo, sua penetração no solo e praias, bem como a capacidade de sucção de bombas em operações de remoção, a eficiência da aplicação de dispersantes e a limpeza de superfícies degradadas.

2.2.6. Ponto Fluído

O ponto fluído de um óleo é a temperatura na qual ele se torna semi-sólido ou plástico e não flui mais. Isso é resultado da formação de estruturas internas microcristalinas, que prevalecem sobre os efeitos da viscosidade e da tensão superficial. O ponto fluído dos óleos variam entre -57°C a $+32^{\circ}\text{C}$. Óleos leves com baixa viscosidade possuem ponto fluído baixo. Essa característica é de grande importância no combate a derramamentos de óleo e na recuperação de praias.

2.2.7. Ponto Flash

É a temperatura na qual vapores do óleo incendiam-se momentaneamente ao se aplicar uma chama sob condições de testes padronizadas. Alguns tipos de óleos leves se incendiam sob condições ambientais normais. Quando as frações mais leves se dispersam ou evaporam, o "ponto flash" cai bruscamente e ele se torna menos perigoso em operações de limpeza.

2.2.8. Solubilidade

É o processo pelo qual a substância (soluto) se dissolverá em outra substância (solvente). Apesar da solubilidade do óleo na água ser muito pequena (menor que 5 p.p.m.), esse processo tem importância elevada no estudo da toxicidade do óleo em organismos aquáticos, uma vez que, existem frações de hidrocarbonetos e sais de minerais no óleo que são levemente solúveis na água. A tabela 2.5 reúne as principais características físicas de alguns tipos de óleos e seus derivados.

Tabela 2.5: Propriedades Físicas de Alguns Óleos e Derivados

	Grav.Esp. (15°C)	Grav. API (15°C)	Viscosidade cS (38°C)	P.Fluido (°C)	P.Flash (°C)	P. de ebulição inicial (°C)
Óleo Cru	0.8 a 0.95	5 a 40	20 a 1,000	-35 a 10	variável	30 a 500
Gasolina	0.65 a 0.75	60	4 a 10	-	-40	30 a 200
Querosene	0.8	50	1.5	-	55	160 a 290
Comb. Avião	0.8	48	1.5	-40	55	160 a 290
Óleo Comb. N°2.	0.85	30	15	-20	55	180 a 360
Óleo Comb. N°4.	0.9	25	50	-10	60	180 a 360
N°5 (Bunker B)	0.95	12	100	-5	65	180 a 360
N°6 (Bunker C)	0.98	10	300 a 3,000	+2	80	180 a 500

Fonte: Doerffer (1992), p.16.

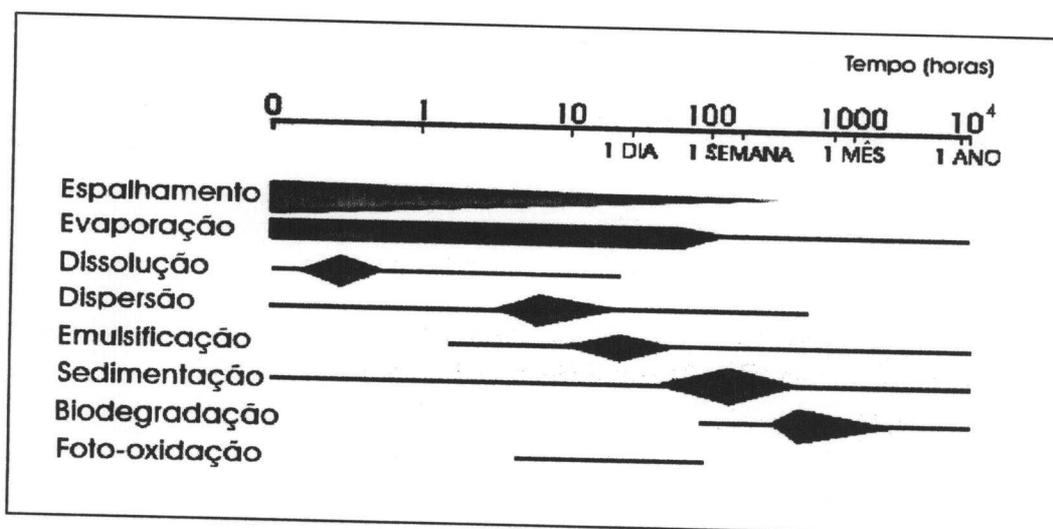
2.3 COMPORTAMENTO DO ÓLEO EM AMBIENTES MARINHOS

Segundo Doerffer (1992), quando o óleo é derramado no mar, ele se espalha sobre a superfície da água formando uma fina película, conhecida como mancha de óleo. A partir daí, a mancha, influenciada pelos ventos e correntes, começa a se deslocar e o óleo passa a sofrer uma série de processos naturais de degradação, como a evaporação, dissolução e advecção, dispersão, oxidação fotoquímica, emulsificação água-em-óleo,

degradação microbiótica, absorção por materiais particulados suspensos (MPS), ingestão por organismos, e afundamento e sedimentação.

A magnitude e duração de cada um desses processos (Fig. 2.3) dependem do volume derramado, da composição do óleo (viscosidade e densidade), dos materiais superficiais ativos presentes, das tensões superficiais interfaciais, dos ventos superficiais, das propriedades físicas do estado mar (temperatura, salinidade), das correntes superficiais e da irradiação solar.

Figura 2.3: Comportamento do óleo em ambientes marinhos.



Fonte: Extraído e adaptado de Clark (1986).

O prévio conhecimento dessas variantes permite-nos avaliar os impactos do derramamento à vida marinha e ao meio ambiente, prever as alterações físico-químicas do óleo, seu comportamento no mar (através de simuladores), e prever as respectivas medidas de controle e de limpeza. Mas, por mais confiáveis que sejam os simuladores na previsão do comportamento e movimentação do óleo, há a necessidade de

acompanhamento aéreo das manchas, já que muitas vezes, as variáveis que ditam o contexto do acidente mudam rapidamente.

2.3.1 Espalhamento e Deriva

Para Doerffer (1992), o processo que mais afeta o comportamento do óleo durante as primeiras horas após o derramamento, desde que o ponto fluído do óleo seja menor que a temperatura ambiente, é o espalhamento. Este processo faz com que a mancha do óleo derramado se expanda aumentando sua área e diminuindo sua espessura - até décimos de milímetros depois de uma hora e poucos micra depois de duas a três horas - garantindo assim, maior transferência de massa por evaporação e dissolução. Além disso, a ação de agentes superficiais ativos causam a formação de emulsificações de água-em-óleo resultando num aumento local de densidade e viscosidade, e de tendência à dispersão.

Embora tenha sido estudado por vários cientistas, foi James A. Fay, em 1969, apud Meyer (1994), que melhor descreveu o processo de espalhamento, identificando três fases distintas⁷:

1. Uma fase inicial onde o espalhamento é controlado por forças de resistência gravitacional (pressão hidrostática) e inercial, caracterizada pela divisão clara entre uma região central espessa e compacta (compreendendo cerca de 90% do óleo) e a outra, que envolve a primeira, muito maior e menos densa. Para grandes derramamentos esta fase dura aproximadamente 1 hora.

2. Uma fase intermediária onde a gravidade e forças de arrastão viscosas predominam (a gravidade impulsiona o espalhamento e a viscosidade retarda). Essa fase, dura geralmente, até uma semana após o derramamento e;
3. Uma fase final na qual as forças de tensão superficial são balanceadas por forças viscosas (ou advectivas) e que mostra um aumento da mancha independentemente do volume inicial. O raio da mancha pode ser calculado a partir da expressão:

$$r = (\sigma^2 \cdot t^3 / \rho^2 \nu)^{1/4} \quad , \quad (1)$$

onde:

ρ = densidade do óleo, (g.cm^{-3});

t = tempo (segundos);

ν = viscosidade cinética da água, ($10^{-2} \text{ cm}^2 \text{ seg}^{-1}$) e;

σ é o coeficiente de espalhamento (pressão) = $\gamma_w - (\gamma_o + \gamma_{o/w})$

onde:

γ_w = tensão superficial da água;

γ_o = tensão superficial do óleo e;

$\gamma_{o/w}$ = tensão interfacial do óleo/água (dinas . cm^{-1}).

Os pontos de transição (Fig. 2.4) de uma fase para outra, bem como o exato tamanho da mancha no tempo t pode ser aproximadamente calculado pelas equações desenvolvidas por James Fay para cada uma dessas fases. Entretanto, na prática, podemos utilizar somente a equação (1), respectiva à fase final, para descrevermos o processo de espalhamento a qualquer hora, 1 ou 2 horas após o início do derramamento. Esse processo é de fundamental importância para se determinar, junto com os sensores aerotransportados, a variação da espessura da mancha. Conhecer essa variável garante

⁷ Texto: "The Nature of Crude Oil and Refined Products and the Fate of Oil Spilled at Sea" (sem autor), cedido por Botter, R.C. (1995) durante o curso " Avaliação, Prevenção e Controle da Poluição Marinha" da Universidade de São Paulo.

uma aplicação mais eficiente de dispersantes (tanto marítima quanto aérea) e na distribuição dos equipamentos de controle.

A radiometria por microondas é o único equipamento que pode determinar espessuras na mancha de óleo acima de 0.05 mm. São nessas regiões (cerca de 10% da mancha visível) que se concentram o maior volume do óleo (90%)⁸. A Figura 2.4 compara as três fases do espalhamento com imagens aerotransportadas obtidas através de radiometria por microondas.

A deriva de uma mancha é a movimentação que o seu centro de massa sofre durante um determinado intervalo de tempo e independe do processo de espalhamento e do volume de óleo derramado. Tal movimentação ocorre na mesma direção e à mesma velocidade que a superfície da água, é regida pela ação das correntes e marés e, principalmente, pelos ventos superficiais.

A direção resultante da deriva e a distância percorrida num dado intervalo de tempo podem ser calculadas somando-se os vetores de marés e do vento para esse intervalo:

$$U_0 = U_c + \varepsilon \cdot W \quad (2)$$

onde:

U_0 = velocidade do centro de massa;

U_c = soma vetorial da correntes superficiais;

W = velocidade do vento W ;

ε = fração da velocidade do vento W , calculada a partir da equação:

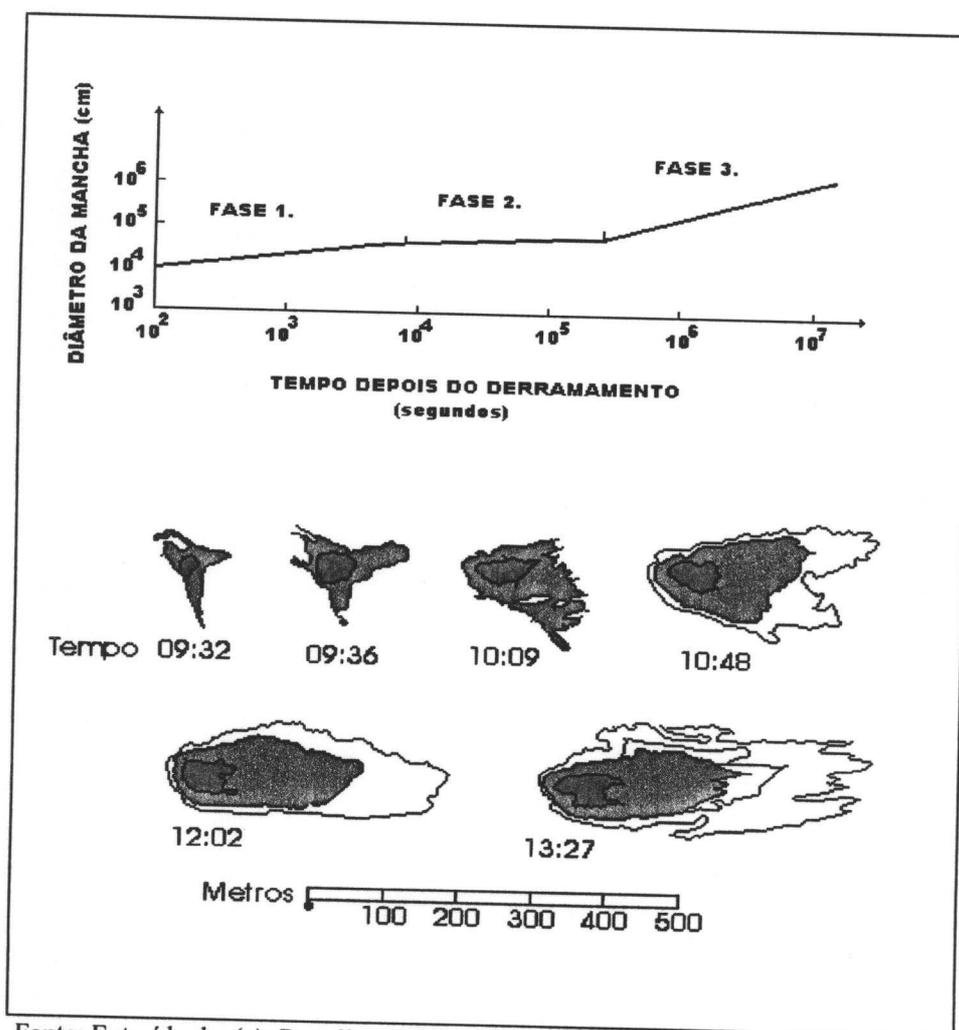
⁸ Fonte: Holliger & Mannella (1973).

$$\varepsilon = (\varphi_a / \varphi_{\text{óleo}})^{1/2} \quad (3)$$

onde: φ_a = densidade do ar (1.3 Kg/m^3) e;

$\varphi_{\text{óleo}}$ = densidade do óleo (de 700 a 980 Kg/m^3) dependendo da composição do óleo.

Figura 2.4: Espalhamento de uma mancha de óleo.



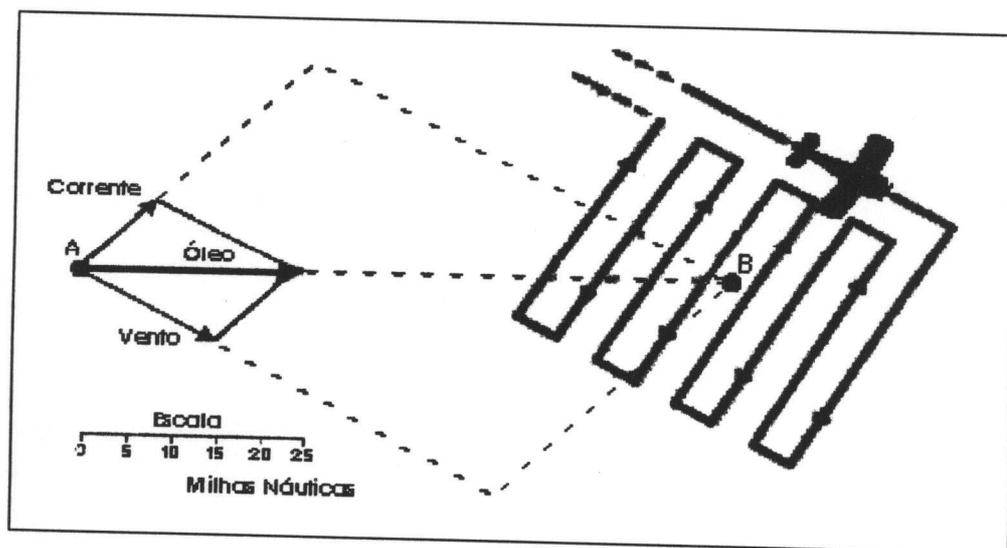
Fonte: Extraído de: (a) Doerffer (1992), p.28 e (b) Holliger & Mannella (1973)⁹.

⁹ (a) As três fases do espalhamento da mancha de óleo, (b) Imageamento por radiometria de microondas de um derramamento controlado de 2.380 litros de óleo N° 2. A linha externa (amarelo) representa a linha visível limítrofe da mancha, a linha intermediária (azul) ilustra a parte da mancha que aparece em fotografias e a área vermelha representa a região mais espessa da mancha.

A quantidade vetorial resultante representa tanto a magnitude quanto a direção da deriva. Para períodos de 12 horas podemos assumir que apenas a ação do vento influencia o movimento da mancha.

Por ação dos ventos, as manchas tendem a formar grandes tiras alinhadas paralelamente à sua direção. A observação de tal fenômeno durante as operações do planos de contingência auxilia o processo de investigação feito pelas aeronaves de vigilância marítima que, com isso, economizam tempo e recursos (\$). Movimentando-se perpendicularmente ao vento, aumenta-se a precisão das investigações, como mostra a figura 2.5.

Figura 2.5: Resultado do movimento da corrente e do vento



Fonte: ITOPF (1995)¹⁰.

¹⁰ Movimento do óleo de A para B três dias depois. Simulação feita combinando 100% da velocidade de corrente e 3% da do vento, como ilustrado. As setas de A representam a corrente, o vento e o movimento do óleo por um dia. O percurso ideal da aeronave é mostrado sobre a posição B.

2.3.2. Evaporação

A evaporação é o processo de degradação mais importante entre as primeiras 24 e 48 horas após o derramamento em relação à transferência de massa (partição molecular), remoção das substâncias mais tóxicas e eliminação de componentes de baixo peso molecular. A perda por evaporação é controlada por uma série de fatores. Os mais importantes são: a composição e propriedades físicas do óleo; a área da mancha e sua espessura; a velocidade do vento e o estado do mar; as temperaturas do ar e do mar, e a intensidade da radiação solar.

Em consequência da remoção dos hidrocarbonetos leves através da evaporação, o volume do óleo diminui e a sua toxicidade é reduzida. Mas em contrapartida, a sua densidade e a sua viscosidade aumentam. Utilizando-se modelos que calculam o espalhamento e a evaporação, podemos calcular a fração volumétrica evaporada sob determinadas condições ambientais e correlacionar as perdas por evaporação, com as propriedades físico-químicas das várias frações obtidas nos processos de destilação dos diferentes tipos de óleo. É possível então, estimarmos a densidade e a viscosidade do óleo remanescente depois de intemperizado e, assim, classificarmos o óleo de acordo com a Tabela 2.4, que é muito útil para a escolha das técnicas de limpeza e remoção do óleo (utilização de dispersante ou não).

2.3.3. Dissolução

Embora não tenha muita importância em termos de balanço de massa, a dissolução tem grande influência sobre as consequências biológicas no ambiente marinho. A dissolução depende, em grande parte, do ponto de onde o óleo foi liberado. Derramamentos sub-superfície, que ocorrem em operações off-shore, aumentam a dissolução de componentes aromáticos de baixo peso molecular. Ao se locomover pela coluna d'água à superfície, esses aromáticos, como o benzeno, se particionam e são quase que completamente removidos do óleo. Em função disso, o processo de evaporação é retardado. A dissolução de componentes individuais é controlada pela quantidade de moles de cada um desses componentes na mancha, pelo coeficiente de partição óleo/água e pelos coeficientes interfásicos de transferência de massa.

2.3.4. Dispersão

A dispersão do óleo em pequenas gotículas é o processo natural de degradação mais importante em relação à quebra da mancha e ao seu desaparecimento. De fato, a dispersão é o resultado de três processos distintos:

- o processo de **globulação**, isto é, a formação de pequeníssimas gotículas de óleo a partir da mancha sob influência da turbulência superficial da água;
- o processo de **dispersão**, ou seja, o transporte de gotículas de óleo pela coluna d'água como resultado da energia cinética das gotículas de óleo, fornecida pela turbulência da água e forças de empuxo. As gotículas maiores (< 0.1 mm) retornam à superfície quando a turbulência é reduzida, a não ser que sejam absorvidas por

materiais particulados suspensos ou ingeridas por microorganismos, enquanto que as gotículas menores permanecerão indefinidamente dispersas pela coluna d'água, até que sejam dissolvidas ou biodegradadas;

- o processo de **mistura** das gotículas de óleo na mancha.

A densidade e a viscosidade do óleo derramado também afetam a dispersão natural. Quanto maior for a densidade do óleo, menor será a diferença de densidade entre o óleo e a água, conseqüentemente, as gotículas de óleo se formarão com maior facilidade. Com isso, a globulação aumenta e a tendência das gotículas voltarem à superfície diminui, resultando numa dispersão de grandes profundidades. Portanto, quanto mais pesado for o óleo (que por sinal, é o caso dos óleos produzidos pelas bacias brasileiras), mais importante será o processo da dispersão natural.

2.3.5. Oxidação Fotoquímica

Os componentes mais voláteis do óleo são essencialmente não solúveis na água do mar. Entretanto, sob a influência da luz solar, radicais livres desses compostos podem reagir com o oxigênio (formando hidroperóxidos e peróxidos), permitindo a quebra de moléculas maiores, em compostos mais solúveis na água do mar. A razão de degradação é, em grande parte, influenciada pelo comprimento de onda incidente, pela concentração de materiais particulados suspensos, pela concentração de aromáticos de alto peso molecular e pela espessura da mancha. Caso a espessura da mancha for maior que 0.5 mm, os comprimentos de luz ativos não conseguem penetrar no óleo, já que ele é considerado opaco para tais comprimentos de onda, e o processo de foto-oxidação não

se perpetua. Estima-se que para uma mancha de 100 toneladas de óleo, 8 km² de área e 0.02 mm de espessura, a razão de decomposição, sob a irradiação de luz solar por 8 horas/dia é de 1 tonelada por dia.

2.3.6. Emulsificação

O óleo quando derramado possui uma aparência visual preta e densa, mas conforme a emulsificação começa a atuar, a coloração do óleo muda para marrom, amarelo ou laranja. Em contraste, as regiões mais finas da mancha terão a aparência de filmes iridescentes ou prateados.

A emulsificação do óleo é o resultado da dispersão de gotas de água no meio oleoso (até um máximo de 75 a 80%), formando uma matéria altamente viscosa, também chamada de mousse de chocolate. Como consequência da emulsificação temos o aumento da viscosidade, do volume (até 4 vezes), de sua densidade (próxima à da água do mar) e de coloração; tornando o processo de limpeza mais difícil e complexo.

Determinados tipos de óleo têm tendência a formarem emulsificações de misturas "água no óleo" estáveis, que dependem da concentração de parafina e materiais asfálticos. Produtos refinados, por não conterem tais produtos em sua formação, não apresentam emulsificações "água no óleo" estáveis. A formação de emulsificações estáveis reduzem significativamente as perdas por evaporação e pela dissolução, e a degradação por efeitos fotoquímicos e microbiológicos são limitados pela superfície externa da bolas de piche ou do mousse. Ainda, como consequência da emulsificação,

temos o decréscimo do coeficiente de espalhamento da mancha em função da dissolução dos componentes superficiais ativos do óleo. A tabela 2.6 representa as alterações das propriedades físicas e químicas (viscosidade e tensão superficial interfacial) da mancha de óleo, observadas durante a formação da emulsificação "água-em-óleo".

Tabela 2.6: Conseqüências da emulsificação do óleo com o tempo.

Óleos	Após 4 horas			Após 24 horas			Após 168 horas		
	variação volume (%)	água (%) 20°C	viscos. cP a 20°C	variação volume(%)	água (%) 20°C	viscos. cP a 20°C	variação volume(%)	água (%) 20°C	viscos. cP a 20°C
Ekofisk	-10	0	6.5	+360	85	-	+220	86	1800
Kuwait	0	3	77	+100	70	400	+230	82	6100
Árabe leve	+360	88	1600	+260	83	2950	+150	78	6900
Iraniano leve	+450	82	1400	+350	84	1770	+240	86	9000
Óleo diesel	+415	84	-	+537	82	-	+580	82	-

Fonte: Doerffer, (1992), p.16.

2.3.7. Absorção por Materiais Particulados Suspensos (MPS)

A interação entre derramamentos de óleo próximos à costa e com alta concentração de MPS representam um importante mecanismo para a rápida dispersão e remoção do óleo da superfície da água, reduzindo-o em até 15% de sua massa.

2.3.8. Biodegradação

Para a biodegradação de gotículas suspensas na coluna d'água é essencial a presença de grandes concentrações de micro-organismos na interface água/óleo, que são capazes de metabolizar a maioria dos componentes do óleo e, cuja presença, é bastante

limitada no mar. Portanto, a biodegradação é um processo lento, que requer meses e até anos para se completar.

A biodegradação de hidrocarbonetos é, na realidade, uma oxidação biológica e, portanto, a maioria dos micro-organismos envolvidos são espécies aeróbicas, como bactérias e fungos. Ela é limitada por vários fatores, entre os quais, os mais importantes são:

- a concentração de oxigênio na água do mar;
- a temperatura (atividades biológicas são relacionadas à temperatura), quando a temperatura diminui a concentração de oxigênio aumenta;
- a disponibilidade de nutrientes: os microorganismos necessitam não só do oxigênio e do carbono existente na água do mar e no óleo, respectivamente, mas também da presença de nitrogênio e de fósforo, que são presentes em pequenas quantidades na água do mar.

Para obtermos altos índices de biodegradação os fatores limitantes devem estar em níveis ótimos. A concentração de oxigênio e a temperatura não podem ser alterados, entretanto, as concentrações de nitrogênio e fósforo na interface água/óleo podem ser aumentadas introduzindo produtos nutritivos, contendo as proporções adequadas de nitrogênio e fósforo. Além de serem praticamente insolúveis na água do mar, são biodegradáveis, não são tóxicos para a fauna marinha, e são relativamente baratos.

2.3.9. Afundamento e Sedimentação

A gravidade específica dos óleos intemperizados é próxima à da densidade da água a temperatura de 15°C. Quanto mais grosso ele for, maiores serão suas chances de chegar à gravidade específica igual a 1.00. Conseqüentemente, as probabilidades dele afundar aumentam. Além disso, há também a possibilidade de formação de bolas ou pedaços de piche, que são massas semi-sólidas compactas de óleo intemperizado agregado à partículas presentes na coluna d'água ou no assoalho oceânico e, cuja presença, representa sérios danos à costa, principalmente às praias de areia.

2.4. IMPACTOS ECOLÓGICOS MARINHOS

2.4.1. Toxicidade dos Hidrocarbonetos de Petróleo

Quando o óleo é derramado na água do mar, a princípio, somente os componentes solúveis afetam os organismos que vivem sub-superfície. Porém, quando ventos, ondas e correntes agem sobre a mancha de óleo, misturando-a à água, outros componentes não solúveis, passam também a afetar os organismos ali presentes. Quanto mais solúvel for o composto, mais tóxico será ele.

Os impactos ambientais de um derramamento de óleo, ou de seus subprodutos, nos ecossistemas costeiros e oceânicos variam consideravelmente em função do tipo e composição do óleo, da quantidade derramada, da época do ano, de fatores

meteorológicos e oceanográficos, da localização geográfica e do estado biológico dos organismos na hora da contaminação. Além disso, diferentes espécies de organismos e em estágios diferentes de vida possuem suscetibilidade variável à poluição por petróleo. Ovos, larvas e espécies jovens são, geralmente, mais sensíveis que os adultos.

Segundo Clark (1986), do ponto de vista toxicológico, os hidrocarbonetos saturados são mais tóxicos que os aromáticos. Os compostos aromáticos são mais tóxicos que os asfálticos, e compostos de médio peso molecular são mais tóxicos que os de alto peso molecular. Compostos de peso molecular baixo, apesar de serem altamente tóxicos e apresentarem alto risco de combustão são, geralmente, considerados sem muita importância, pelo fato de serem altamente voláteis e se dispersarem rapidamente na atmosfera quando derramados no mar. Porém, se o derrame se der em ambientes alagados (manguezais), onde predominam solos anaeróbicos, o processo de evaporação é retardado, fazendo com que o óleo retenha por muito tempo sua toxicidade inicial (Schaeffer-Novelli, 1986).

A gasolina, o querosene e a nafta possuem grandes frações de aromáticos e são mais tóxicos que o óleo diesel e o óleo cru. Por outro lado, esses são muito mais persistentes, causando impactos de longa duração.

Os efeitos dos compostos de hidrocarbonetos sobre a biota aquática pode ser medida utilizando-se extratos solúveis de hidrocarbonetos em água sobre um determinado organismo aquático. Apesar destes testes nos permitirem estabelecer com

grande precisão os limites permissíveis desses extratos sobre a sobrevivência, crescimento e reprodução de determinados organismos aquáticos, é praticamente impossível estabelecermos com precisão a toxicidade das complexas misturas de hidrocarbonetos presentes numa amostra de óleo.

Segundo Tommasi (1991) apud CETESB (1992), os efeitos causados aos organismos aquáticos podem ser classificados em dois tipos: a) Letais, quando há a morte dos organismos causada pela toxicidade ou por efeitos físicos do produto, e; b) Sub-Letais, quando os efeitos biológicos crônicos afetam o comportamento, crescimento, reprodução, colonização e distribuição das espécies.

2.4.2. Praias

Segundo Schaeffer-Novelli (1986), as praias de areia, aparentemente inóspitas e desprovidas de vida (animal e vegetal) devido às condições rigorosas de tempo (altas temperaturas, abrasão e influência das ondas) apresentam algumas espécies de organismos e em elevado número de indivíduos.

A granulometria tem efeito decisivo sobre a fauna das praias e varia em função de sua localização geográfica: praias existentes em altas latitudes são formadas, predominantemente, por seixos e cascalhos, enquanto que praias arenosas são tipicamente de regiões tropicais e temperadas. Praias de areia bem fina são encontradas em regiões abrigadas e de areia grossa, em regiões expostas a altos níveis de energia, que por serem afetadas constantemente pela arrebentação das ondas, são instáveis, com

declividade acentuada, alta permeabilidade e baixa capilaridade (lençol freático baixo), não sendo portanto, propícia ao desenvolvimento de comunidades animais e vegetais.

Para Clark (1986), praias sedimentares de baixa energia são impermeáveis a óleos viscosos. Por outro lado, são mais vulneráveis a efeitos adversos quando o óleo as atinge ainda na forma líquida. Ao se infiltrar no substrato, o óleo não sofre bio-degradação pela falta de oxigênio e suas propriedades tóxicas ficam retidas por muito tempo.

A região costeira pode ser dividida em quatro zonas: zona supra-litoral, inter-litoral, sub-litoral e plataforma continental. As praias são representadas pelas duas primeiras zonas: a zona supra-litoral, que é a parte superior da praia e com menor probabilidades de ser atingida por óleo, mas com possibilidades de impactos associados a operações de limpeza e, pela zona inter-litoral: a região compreendida entre as marcas de preamar e baixa-mar, e cujo solo pode ser arenoso, lodoso e/ou rochoso, rico em vegetação, mariscos e pequenos crustáceos. Por estar permanentemente molhada, o óleo pode ser totalmente lixiviado e as comunidades afetadas, quando caracterizada pela alta taxa de renovação ("turnover"), se recuperam rapidamente, através do recrutamento de larvas em regiões subjacentes e que não foram afetadas.

2.4.3. Mangues

Ainda segundo Schaeffer-Novelli (1986), os manguezais são sistemas abertos que se utilizam dos nutrientes trazidos pelas águas continentais e marinhas, transformando-os, através da fotossíntese, em matéria orgânica (produtividade primária). São formados

por grupos de árvores e arbustos capazes de se adaptar em terrenos alagados, sujeitos a intrusões de água salgada, e por um grupo de animais que habitam estas áreas entre marés, características de regiões tropicais e subtropicais. Segundo McGill (1958) apud Schaeffer-Novelli (1986), de 60 a 70% das áreas costeiras situadas entre os paralelos 25° N e 25° S são cobertas por manguezais.

A vulnerabilidade dos manguezais a impactos causados por derramamentos de óleo varia de moderada a severa. De um modo geral, quando o filme de óleo atinge os manguezais, forma-se uma barreira mecânica, cobrindo as regiões entre marés, que impede a ventilação adequada do sistema radicular, onde as centicelas (poros responsáveis pelas trocas gasosas sobre a superfície das raízes-escora) são encontradas em maior concentração. Não bastasse só a influência física do óleo, temos também a química, que é a exposição das frações tóxicas solúveis do óleo, dos produtos intemperizados do óleo residual, e da ação de agentes atmosféricos sobre as raízes e as populações microbianas do solo.

O efeito mais imediato causado pelo recobrimento mecânico das raízes, segundo a CETESB (1992), é o elevado desfolhamento seguido de morte, principalmente, dos indivíduos mais jovens, além da conseqüente perda no vigor do bosque (formação de clareiras). A razão média de desfolhamento é da ordem de 1,0 a 4,0 g/m² durante o ano todo (atingindo o pico durante o verão) e, cuja intensidade, varia em função da espessura do filme de óleo, do tempo de persistência e da sua toxicidade.

Onde a concentração do óleo for menor, as respostas sub-letais incluem uma desfolhação parcial, produção de novas folhas deformadas e um elevado índice de insetos atacando as folhas e plântulas. Se o óleo persistir, o sistema continua se deteriorando e uma nova estrutura se desenvolve, com menor resistência. As árvores remanescentes apresentam diversos sintomas, como fissuras e rompimentos de cascas dos troncos, alterações morfológicas e no tamanho das folhas, etc. Cabe ressaltar também, que as raízes radiculares servem de abrigo e fonte de alimento para peixes, moluscos e cretáceos que vivem nos manguezais.

Depois de formadas, as clareiras são novamente preenchidas por plântulas (trazidas de áreas não afetadas) que só conseguem sobreviver enquanto dependerem apenas de suas reservas nutritivas (procedente de sua fase embrionária), morrendo em seguida, ao desenvolverem seu sistema radicular, quando necessitam extrair mais água e nutrientes do ambiente. Esse processo se repete até que os efeitos do óleo tenham sido completamente assimilados pelo meio ambiente.

A recuperação do bosque está diretamente ligada à decomposição do óleo residual e à medida que ele se recupera, indivíduos jovens disputam a ocupação do espaço, retardando o seu crescimento. Além disso, o acúmulo de galhos e troncos de árvores mortas também podem retardar sua recuperação, matando os mais jovens e impedido a chegada de propágulos das áreas vizinhas. O tempo de recuperação dos manguezais é estimado, aproximadamente, em 20 anos ou mais (CETESB, 1992).

2.4.4. Plânctons

Plânctons são conjuntos de seres orgânicos, na sua maioria microscópicos, que flutuam passivamente ou nadam fracamente na coluna d'água e são classificados segundo sua natureza: fitoplâncton, se de origem vegetal, ou zooplâncton, quando de origem animal.

A distribuição plantônica no mar é extremamente variável em localização, densidade e composição, e a maioria das espécies, por serem muito pequenas ou muito frágeis, não permitem que estudos laboratoriais ou de campo se realizem com resultados satisfatórios. Por isso, a atenção volta-se, principalmente, para espécies maiores, como culturas de algas ou larvas de peixes (Clark, 1986).

Ainda segundo Clark (1986), os hidrocarbonetos de petróleo são tóxicos a uma série de organismos plantônicos, sendo os compostos aromáticos mais que os asfálticos. Óleos intemperizados, com menos componentes voláteis e solúveis, não são considerados muito tóxicos. Para algumas culturas de algas, baixas concentrações de hidrocarbonetos de petróleo na água (abaixo de 50 nanogramas de óleo por grama de água) aceleram o processo de fotossíntese, presumivelmente, devido aos seus efeitos nutritivos, mas, acima dessa concentração, há uma redução progressiva do processo de fotossíntese.

Para CETESB (1992), concentrações entre 10^{-5} e 0.1 ml/l de óleo na água causam retardamentos na divisão celular dos fitoplânctons. Para causar a morte, a

concentração necessária varia entre 10^{-4} ml/l e 1 ml/l. Essa variação depende do tipo de óleo, da sensibilidade específica dos organismos afetados e das condições ambientais da região onde aconteceu o derrame (ventos, radiação solar, etc.). Dependendo do produto derramado, pode haver a redução em até 90% de luz transmitida à coluna d'água, diminuindo assim, a produtividade primária¹¹. Essa redução na luminosidade também altera a migração vertical do zooplâncton (muitos dos zooplânctons localizam seus alimentos visualmente), causando efeitos indiretos sobre a nutrição e o comportamento desses organismos, além dos efeitos diretos químicos e mecânicos.

2.4.5. Bentos

Designa-se bentos o conjunto de organismos que vivem em íntima associação com o fundo de um corpo. Neste grupo incluem-se moluscos, crustáceos, equinodermos, poliquetos e cnidários, muitos dos quais, especialmente os camarões, lagostas, ostras e mariscos, constituem importantes recursos pesqueiros.

Para FAO (1977) segundo a CETESB (1992), os efeitos dos hidrocarbonetos sobre o bentos das regiões mais profundas e organismos que habitam a região inter-litoral, incluem: o recobrimento, causando sufocamento; a aglutinação, afetando sua mobilidade; e a intoxicação, resultando em morte ou em efeitos sub-letais.

Segundo Doerffer (1992), após a contaminação inicial dos organismos bentônicos, a repopulação das espécies originais é lenta, mas algumas espécies oportunas

¹¹ Produtividade Primária refere-se à quantidade de matéria orgânica sintetizada pelos organismos a

e mais resistentes podem superpopular a área afetada. Bentos expostos por longos períodos e a grandes concentrações de óleo, adquirem odor e gosto de óleo e perdem seu valor de mercado.

2.4.6. Peixes

De acordo com a CETESB (1992), os efeitos adversos de um derramamento de óleo aos peixes variam amplamente. Os mais evidentes são os letais: intervenção no funcionamento das brânquias, causando seu colapso, e o contato e ingestão (em áreas restritas ou fechadas), causando sua morte. Já os efeitos sub-letais, são mais significativos para os peixes, pois causam alterações na alimentação, migração, crescimento e reprodução das espécies. Além disso, há os efeitos sobre ovos, larvas e uma grande variedade de peixes pelágicos (marítimo, oceânico), que são mais suscetíveis aos efeitos desses compostos.

2.4.7. Aves

De acordo com Clark (1986), mesmo com o grande interesse público sobre a diminuição da população de pássaros, como resultado da mortalidade causada pela contaminação por óleo, é muito difícil estimarmos precisamente o número de indivíduos afetados após um derramamento. Já Burger (1993), confirma através de análises estatísticas feitas a partir de 45 derramamentos de óleo, que não há uma correlação consistente entre o volume de óleo derramado e a mortalidade de pássaros resultante.

partir de substâncias inorgânicas. É avaliada em função do tempo, para um determinado volume d'água

Apenas uma fração das mortalidades podem ser associadas ao volume derramado.

Outros fatores que influenciam o número de aves mortas são:

- a densidade de pássaros na área afetada;
- a ação das ondas;
- a velocidade e direção do vento;
- a distância do continente e;
- a temperatura da água (formação de mousse).

Segundo CETESB (1992), a contaminação das aves acontece, principalmente, pelo fato delas mergulharem, caírem ou pousarem em águas contaminadas. A adesão do óleo às aves causa a perda de suas propriedades calorífugas e hidrófugas¹². E, quando ingerido, causa congestão e intoxicação, gerando graves lesões de órgãos internos (efeitos patológicos), como fígado congestionado, glândulas supra-renais hiperatrofiadas, impermeabilização da mucosa, destruição da flora intestinal e a morte.

2.4.8. Animais Mamíferos

Embora seja visível a contaminação dos animais mamíferos por petróleo, muitas vezes, a causa da morte não é descoberta, face à variedade de efeitos que o petróleo causa aos animais. (Doerffer, 1992). Os principais e mais evidentes efeitos são:

- óleos voláteis causam irritações em membranas sensíveis, como as que envolvem os olhos. Os efeitos são reversíveis após 24 horas, quando houver exposição por um curto período, e irreversíveis (aos olhos), quando expostos por muito tempo;

e constitui-se num indicador de fertilidade de um corpo d'água (Petrobrás, 1993).

- perda da temperatura corporal em animais que dependem da pele ou dos pelos para se aquecerem (ex.: ursos polares e lontras marinhas).
- superaquecimento por aumento da absorção solar;
- perda das propriedades hidrófugas reduzindo a insolação e podendo resultar em resfriado, hipotermia e morte;
- irritação da mucosa, quando houver inalação de vapores por curtos períodos, e danos ao sistema nervoso e morte quando inalados por longos períodos ,e;
- danos em órgãos e desbalanceamento hormonal, quando o óleo for ingerido por períodos prolongados.

Segundo o Marine Pollution Bulletin (setembro de 1993), os dispersantes, se devidamente aplicados, ajudam a remover o óleo do mar e o diluem em concentrações não tóxicas, reduzindo os riscos de impactos à vida marinha e à contaminação da costa.

2.5 IMPACTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

Os principais impactos sócio-econômicos causados por derramamentos de óleo no mar são os derivados dos prejuízos financeiros diretos e indiretos decorrentes da paralisação de atividades pesqueira, turísticas e industriais que dependem da qualidade da do mar; e dos riscos intrínsecos à saúde pública, como as mortes causadas por explosões e incêndios; intoxicação causadas pela ingestão de alimentos contaminados; ou problemas dermatológicos e irritações nos olhos, causados pelo contato direto com o

¹² Propriedades Hidrófugas são a capacidade de impermeabilização das penas ou dos pelos dos animais.

óleo. Eles são, atualmente, contabilizados através da somatória dos custos de vigilância, de remoção do óleo e de indenizações (compensação financeira). Quanto mais se investe no primeiro termo da somatória, menos se gasta com os dois últimos.

Baseado em experiências dos países signatários da IMO (International Maritime Organization), Doerffer (1992) diz que, de um modo geral, os custos das operações de remoção do óleo variam consideravelmente, caso a caso, entre US\$2.000 e US\$4.500 por tonelada. São conhecidas, entretanto, operações de limpeza que custaram menos de US\$71 por tonelada e outras mais de US\$21.000 por tonelada. Dispersantes químicos custam aproximadamente US\$1.600 por t. Aplicações de dispersantes a partir de aeronaves custam por volta de US\$4.000 por t de dispersante - geralmente aplicado à uma razão 1 t de dispersantes para cada 20 de óleo, significa cerca de US\$200 por t de óleo. Aplicações de navios são mais baratas, tendem a variar entre US\$25 a US\$150 por t de óleo. Entretanto, aplicações aéreas oferecem maiores razões de espalhamento e um melhor controle sobre o tratamento do óleo derramado.

As operações de limpeza das áreas costeiras poluídas e a deposição do material recuperado variam em custo de US\$650 a US\$6.500 por tonelada, dependendo da disposição de mão-de-obra local. É oportuno lembrar, que a eficiência das operações de limpeza decresce com o tempo de remoção, conforme o óleo se torna escasso. Uma limpeza completa nunca é alcançada na prática e, portanto, é primordial em uma operação de limpeza a decisão de quando se deve interromper as operações em função de suas despesas.

Muitos derramamentos exigem compensações financeiras por danos causados em recursos naturais explorados ou não. Essas compensações podem chegar a dezenas de milhões de dólares e são garantidas por acordos internacionais que estão relacionadas, resumidamente, no item 2.6.5.

Com relação à deposição do material recuperado, os custos irão depender principalmente do modo como esse material será transportado, o tipo de região de deposição e o tipo de planta de incineração. Os custos médios de transporte desses resíduos para uma distância de 100 milhas são da ordem de US\$4 a US\$6 por t. A deposição em lugares impróprios varia entre US\$3 e 7 por t. Em lugares próprios, revestidos com membranas impermeáveis e outras facilidades de monitoramento chegam a custar mais de US\$100 por t. Em uma planta simples de incineração os custos podem chegar a US\$3 por t, enquanto que em plantas mais sofisticadas, equipadas com aparelhos de controle de emissões gasosas, alcançam cifras de até US\$250 por tonelada.

No Brasil, um dos piores acidentes ocorridos no litoral norte do Estado de São Paulo, no qual vazaram 2.700 m³ de petróleo de um oleoduto, 35 praias foram atingidas, causando inúmeros danos à fauna e à flora da região. Depois das operações de remoção e limpeza, foram recolhidos cerca 358 m³ de óleo do mar, 884 m³ de areia contaminada das praias atingidas, e 48 m³ de terra, vegetação, e material absorvente impregnado; além das 100 aves mortas, e algumas espécies afetadas nas praias das regiões atingidas. Foram também aplicados 2.800 litros de dispersantes, e jateados 80 m² de costões e 140 m² de estruturas artificiais. A empresa poluidora responsável pagou pelas multas aplicadas pela Marinha e pela CETESB uma quantia irrisória de cerca de

CR\$ 3.462,00 (CETESB, 1996). Se Considerarmos que 1 m³ de terra equivale à 3,5 t e que, 1 m³ de óleo corresponde à 1 tonelada; pelos custos de remoção e limpeza estabelecidos por Doerffer (1992), a empresa deve ter gasto por baixo, cerca de US\$ 6,7 milhões, e por alto, 30 milhões de dólares.

2.6. CONTROLE E AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO MARINHA

A poluição marinha por óleo é, ainda, uma trágica realidade mundial e, por isso, diversos países têm se unido no intuito de preparar medidas de prevenção, bem como planos de contingência multi-laterais para tentar minimizar ao máximo os efeitos adversos ao ambiente marinho.

As medidas de prevenção, resumidamente, podem ser descritas pelas operações de treinamento e divulgação (palestras), procedimentos de inspeção em estaleiros, equipamentos e embarcações em alto mar (legislação de segurança) descritas nas medidas regulatórias e punitivas (veja item 2.6.5 (b)) e pelo monitoramento da navegação marítima (vigilância marítima).

Mesmo assim, a prevenção sozinha não é capaz de solucionar todos os problemas associados à poluição, necessitando também que cada país possua uma ampla estrutura interrelacionada baseada em mecanismos tecnológicos, logísticos e de decisão para gerenciarem os derramamentos de óleo.

Para a Petrobrás (1993), o bom funcionamento desses mecanismos dependem de informações prévias, obtidas em três etapas distintas. A primeira consiste na caracterização ambiental da zona costeira sob a influência das atividades antropogênicas da região. A segunda, é a avaliação da probabilidade dos riscos dessas regiões de serem atingidas por derramamentos de óleo, feita por modelos matemáticos probabilísticos (simuladores); e a terceira, a partir da identificação dos alvos prioritários na costa, tem por fim estabelecer planos de contingência para ações de emergência e de monitoramento ambiental destas áreas, definidas a partir do binômio sensibilidade ambiental x probabilidade de ser atingida pela mancha de óleo.

2.6.1. Mapeamento da Sensibilidade Ambiental dos Ecossistemas Costeiros

A zona costeira é constituída por sistemas ecológicos importantes para o equilíbrio da vida marinha, como os manguezais, estuários, lagunas, praias e ilhas. Os manguezais e estuários são considerados os ambientes onde se esperam, em caso de acidentes, os impactos iniciais mais graves e com recuperação mais lenta. A elaboração de mapas de sensibilidade da costa insere-se como uma ferramenta indispensável aos planos de contingência, pois permitirá a visualização da área e a identificação dos diversos tipos de ambientes existentes e de suas respectivas sensibilidades à poluição por óleo. Mas, pelo fato da costa ser geralmente má mapeada e, quando o é, os mapas estão ultrapassados ou não condizem com a realidade do momento - já que essas regiões sofrem rápidas transformações por processos naturais e antropogênicos; vários países utilizam técnicas de sensoriamento remoto tanto para o mapeamento, como na obtenção de dados relativos à algumas propriedades físicas, químicas e bióticas da água. Os mapas

georreferenciados obtidos por avião ou satélite são, então, incorporados aos simuladores de movimentação de manchas de óleo (monitoramento), que por sua vez, são instalados nos sistemas de vigilância marítima.

A escala de sensibilidade da costa proposta por Gundlach & Hayes (1978) apud CETESB (1992) é dividida em 10 níveis. O nível 1 é considerado o menos sensível, enquanto o 10 é o mais sensível. As áreas utilizadas pelo homem (áreas urbanas e de turismo) foram consideradas muito sensíveis. Os níveis de sensibilidade considerados são:

Índice de Sensibilidade	Tipo de Ocorrência
1	Costões rochosos expostos
2	Plataformas erodidas pelas ondas
3	Praias de areia fina
4	Praias de areia grossa, áreas de desova de tartarugas
5	Áreas entre marés planas e expostas
6	Praias mistas de areia grossa e cascalho
7	Praias de cascalho
8	Costões rochosos abrigados
9	Áreas planas entre marés e abrigadas
10	Manguezais, áreas de pesca de camarões e peixes, áreas ocupadas, áreas de turismo e recreação, e colônias de aves marinhas.

Fonte: Petrobrás (1993).

Alguns dos aspectos considerados na escala revelaram um forte caráter sazonal e, devido aos mapas de sensibilidade terem características gerais, os pontos que apresentam sensibilidade diferenciada ao longo do ano foram representados com o nível máximo apresentado por aquela comunidade, como por exemplo, a questão do turismo em alguns

pontos da costa. Esse tipo de escala, também, pode ser usada na elaboração de critérios para valoração monetária dos impactos causados pelos derramamentos de óleo.

2.6.2. Operações de Monitoramento de Óleo

Quando se fala em monitoramento de óleo, muitas vezes o termo soa um pouco vago. Isso acontece, em parte, por causa da grande variedade de operações de monitoramento que são praticadas no sistema energético do petróleo, mas, quando mencionadas, são tratadas, genericamente, por monitoramento de óleo.

As operações de monitoramento de óleo podem ser feitas tanto no gerenciamento de algum acidente - acompanhando a trajetória da mancha com modelos matemáticos determinísticos e probabilísticos - ou, monitorando os efeitos dela sobre o meio ambiente nas escalas temporal e espacial, cujo principal objetivo é a determinação de parâmetros de circulação oceânica, geomorfologia, caracterização química e física dos sedimentos, a composição e atividade enzimática das bactérias biodegradadoras, e a determinação dos níveis de presença de hidrocarbonetos no meio ambiente dentro de um ciclo sazonal completo. Esse tipo de estudo permite uma avaliação da sensibilidade ecológica, social e econômica à poluição por óleo de diferentes áreas costeiras e atividades humanas. Permite também a identificação de zonas críticas que necessitam proteção especial, bem como a otimização dos métodos de prevenção, controle e combate a derramamentos de óleo.

Acidentes rotineiros como transbordamentos, defeitos em válvulas também podem ser monitorados, já que, muitas vezes, esclarecem problemas camuflados como procedimentos impróprios de manutenção ou má qualidade de equipamentos. Um acompanhamento minucioso das atividades portuárias e de navegação pode fornecer dados preciosos para políticas e procedimentos de gerenciamento, análise de risco e indicações que recomendem revisões e outras iniciativas.

Além disso, as operações de monitoramento nos permitem também verificar o desempenho das propostas de controle pela comparação de operações anteriores e elaborar cenários futuros, em função dos quais, medidas e planos são definidos.

2.6.4. Planos de Contingência

Cada derramamento ocorre sob diferentes circunstâncias e exigem diferentes estratégias de controle. As estratégias são baseadas em informações relacionadas principalmente, ao contexto do acidente: a distância da costa que óleo se encontra, a velocidade com que ela se direciona para áreas ecológica ou turisticamente sensíveis e a disponibilidade e mobilidade dos equipamentos de resposta. Alguns derramamentos podem ser deixados sozinhos para serem dispersos pela ação do mar, outros podem ser combatidos com recursos locais, e outros, que afetam áreas muito grandes e envolvem muita mão-de-obra, equipamentos e dinheiro, geram um problema logístico, cuja solução deve ser orientada por um plano de resposta previamente estipulado.

Para Doerffer (1992), os planos de contingência são estabelecidos dependendo da área sob responsabilidade e o nível de mobilização de mão-de-obra e equipamentos que o evento requer e, portanto, devem ser divididos em 4 categorias:

- ◆ portos e terminais;
- ◆ região costeira, em nível regional;
- ◆ região costeira, em nível nacional e;
- ◆ planos internacionais (cooperação mútua)

Segundo Botter(1994), o plano de contingência nacional deve ser o primeiro a ser estabelecido pelas autoridades governamentais, baseados nas convenções internacionais e na legislação interna, para que as responsabilidades, política e os aspectos operacionais sejam previamente estabelecidos e as agências, públicas ou privadas envolvidas, devidamente treinadas.

Por outro lado, os planos regionais devem conter muito mais detalhes que o plano nacional, como a lista das autoridades locais a serem mobilizadas no caso de um acidente; a descrição detalhada das áreas costeiras com mapas indicando as principais estradas, pontes, vias de acesso às praias, mangues e etc.; as áreas de deposição de resíduos e; a lista de mão-de-obra e equipamentos disponíveis. O grupo de resposta local deve estar em contato permanente com os Centros de Resposta para requisição de mais equipamentos e mão-de-obra. No Reino Unido, por exemplo (Botter, 1994), esse grupo local é denominado "JRC - Joint Response Centre". Ele tem capacidade de mobilização para qualquer região do Reino Unido em poucas horas após um grande derramamento, e é composto, basicamente por 3 times, um de gerenciamento, responsável pela

determinação das áreas prioritárias a serem preservadas, pelos aspectos financeiros das operações, pelo relacionamento com o governo, e pela aquisição de dados e preparação dos relatórios; um time técnico, que determina os métodos de limpeza, deposição de resíduos e alocação de mão-de-obra e equipamentos e; por um time operacional, que traça as melhores rotas para as áreas designadas, monitorando os recursos disponíveis em cada área e informando o time técnico sobre os resultados. Em São Paulo, por exemplo, esse grupo é composto por membros da CETESB, da Marinha, da Petrobrás, da Prefeitura de São Sebastião, da Defesa Civil e de universidades (USP e Unicamp), e que, atualmente, ainda estão no processo de elaboração de um plano emergencial para o litoral norte do Estado.

Os principais elementos que um plano de contingência deve conter são:

a) Objetivo

O objetivo geral dos planos de contingência é de que toda atividade de resposta a um derramamento de óleo deve ser estabelecido para reduzir ao máximo os danos às pessoas, aos ecossistemas em áreas sensíveis, às indústrias e às praias.

b) As Responsabilidades

Que deve indicar, hierarquicamente, os responsáveis pelas decisões em acidentes de grandes proporções no mar, portos ou instalações *off-shore*. No Reino Unido, por exemplo, as responsabilidades são atribuídas diferentemente caso a caso: os maiores

derramamentos são responsabilidade do governo nacional; em plataformas off-shore, das respectivas companhias de petróleo; nos portos, das autoridades portuárias; e nas costas da Inglaterra, Escócia e Irlanda do Norte, as respectivas autoridades locais. Já nos Estados Unidos, as responsabilidades são atribuídas aos agentes responsáveis pelo derramamento, cabendo ao Estado, fornecer um oficial da Guarda Costeira designado para, apenas, supervisionar o trabalho de limpeza e garantir que esta seja feita satisfatoriamente.

A estrutura deve designar também uma autoridade competente nacional que implemente, mantenha e exercite o plano nacional de contingência, uma autoridade que receba os relatórios enviados dos locais dos acidentes, que no caso do Reino Unido é a Guarda Costeira, e outra, com poderes estatutários e financeiros, que possa intervir navios que causaram poluição ou tomar medidas necessárias para o devido controle da situação.

c) Aspectos Operacionais

Os coordenadores dos planos de ação enfrentam situações complexas e de difícil decisão e, portanto, necessitam de uma vasta gama de informações para se orientarem, como o tamanho do derramamento, a movimentação da mancha, as condições climáticas atuais e futuras, as áreas prioritárias de proteção, os equipamentos e mão-de-obra disponíveis, os métodos tecnicamente aplicáveis de contenção e remediação, as considerações legais e regulatórias, e as condições de transporte e telecomunicações (Geistauts, 1992). Essas informações, segundo Botter (1994), são fornecidas através de

uma série de ações e procedimentos (Aspectos Operacionais) que podem ser adotados logo após o derramamento e durante a resposta. Os aspectos operacionais tratam de questões do gênero: que tipo de equipamento deve ser enviado ao local? Quanto tempo ele deve ficar lá? Que tipo de especialistas são necessários? Como deve ser feita a mobilização de equipamentos e mão-de-obra?

Notificação: ao sofrer um acidente, a primeira atitude do capitão é notificar o fato às autoridades nacionais, fornecendo-lhes informações detalhadas sobre as condições gerais do navio, seu posicionamento a quantidade de óleo derramada, condições de tempo, procedimentos já adotados no próprio navio e outras informações relevantes (como por exemplo, o tipo de óleo derramado). Depois de notificados, as autoridades nacionais devem alertar as autoridades locais, cujas áreas sob jurisdição corram risco de contaminação, e enviar aviões para avaliarem a situação.

Avaliação: o principal método de avaliação de um derramamento é a utilização de Sistemas de Vigilância Marítima capazes de detectar e monitorar a movimentação das manchas de óleo no mar, e através dos relatórios enviados constantemente dos navios com informações do tempo e condições do mar. Esse procedimento permanece até que todo óleo seja removido do mar.

Decisão e Resposta: avaliada a situação, o próximo passo é decidir o estratégia de resposta: em pequenos acidentes longe da costa, por exemplo, a política adotada é deixar o óleo evaporar e degradar-se naturalmente. Em grandes acidentes, a primeira ação é enviar barcas equipadas com equipamentos recolhedores de óleo (“skimmers”),

instalar barreiras flutuantes, e mobilizar as aeronaves e barcaças equipadas com dispersantes, que devem ser utilizados em até 48hs, isto é, antes que o óleo comece a emulsificar. A decisão de resposta é uma questão logística e, por isso, o seu planejamento e treinamento são essenciais para a redução do tempo de resposta, particularmente no começo, o momento mais crítico do derramamento. Para que as respostas sejam eficientes é imprescindível também que os equipamentos sejam escolhidos adequadamente e estejam localizados de tal forma que o tempo de mobilização seja mínimo, já que desastres não avisam quando e onde vão acontecer. Hoje, existem modelos matemáticos destinados exclusivamente para localização de Centros de Resposta a Derramamentos de óleo e que têm ajudado muito no controle da poluição no mar e na costa, como mostra Abdulaziz (1993).

Os métodos de resposta são escolhidos em função do contexto em que ocorreu o acidente, da composição físico-química do óleo e dos processos intempéricos em andamento na hora da resposta, mas, de um modo geral, podemos separar os métodos de controle em físico e químico. Os físicos são basicamente a utilização de barreiras, recolhedores de óleo ("skimmers"), barreiras de jatos de alta pressão de água, redes e etc. Os químicos são, principalmente, o uso de dispersantes¹³, materiais absorventes como palha e serragem que atuam por absorção ou adsorção no óleo flutuante, demulsificadores - produtos usados para quebrar as emulsões de água em óleo -, barreiras químicas, precipitadores, e agentes nutrientes (bactérias e fungos) que aumentam a biodegradação.

¹³ Dispersantes são usados para diminuir a tensão superficial entre o óleo e a água, intensificar a dispersão do óleo em gotículas na superfície e coluna d'água e acelerar o processo de biodegradação.

Revisão: a revisão da resposta começa depois que todas medidas iniciais já tenham sido tomadas e continua até que o recolhimento do óleo no mar ou nas áreas costeiras afetadas tenha terminado. Suas incumbências são:

- * monitorar e prever os movimentos das manchas de óleo remanescentes com simuladores;
- * monitorar a quantidade de óleo recuperada e dispersada que devem ser deduzidas do total estimado;
- * mobilizar equipamentos e mão-de-obra para regiões da costa que estão previstas para serem atingidas pelas manchas;
- * monitorar o tempo de acesso às áreas afetadas, pois qualquer demore significa menos quantidade de óleo recolhido;
- * prever e monitorar a quantidade de resíduos gerados;
- * manter todas ações devidamente documentadas para uma posterior análise.
- * manter um banco de dados sobre o acidente, em especial, dos custos envolvidos para um futuro ressarcimento.

Término e Revisão Final: aqui, as ações mais importantes são a determinação dos locais de deposição dos resíduos e a revisão analítica dos planos de contingência nacional e regional, modificando-os se necessário.

2.6.5. Legislação Internacional

a) Compensação Financeira

A grande repercussão gerada pelo acidente do navio Torrey Canyon, nas Ilhas Scilly (Reino Unido), em 1967, pelo grande volume de óleo derramado (119.000 t) e, em parte, pela emergente preocupação da comunidade mundial pela preservação do meio ambiente, estimulou a elaboração de tratados internacionais (Convenções), cuja principal finalidade era promover a cooperação internacional no combate à poluição marítima causada por óleo, garantindo imediata mobilização em caso de novos acidentes; limpando as áreas afetadas e providenciando verbas para indenização daqueles que, de alguma forma, tenham sido prejudicados pelo incidente.

Criado, em 1968, o **ITOPF - The International Tanker Owners Pollution Federation Limited**, é uma organização sem fins lucrativos com o propósito de administrar o acordo voluntário entre os proprietários de petroleiros (Tovalop), e dar assistência e treinamento às respostas de limpeza de derramamentos de óleo.

TOVALOP - Tanker Owners Voluntary Agreement Concerning Liability for Oil Pollution, é um entendimento voluntário, de 1969, entre os transportadores de petróleo que determina aos signatários assumirem certas obrigações (mesmo que não sejam responsáveis pela poluição), no intuito de garantir indenização de terceiros (governos, entidades particulares, etc.) diretamente afetados pelo derrame de óleo, custeio das ações necessárias para afastar a ameaça de poluição ou reduzi-la e, daquelas

necessárias para recompor o meio ambiente nas condições anteriores ao acidente. Por outro lado, o transportador mantém seus direitos de ser ressarcido por terceiros, quando for provado serem estes os reais causadores dos prejuízos. As indenizações, são garantidas pela compra de um seguro por parte dos proprietários de petroleiros e estão sujeitas aos seguintes limites: US\$ 86,5 milhões (calculados em SDR)¹⁴ para navios com mais de 5.000 TPB (Tonelagem de Porte Bruto), signatários do Cristal que ratificaram a Convenção C.L.C e, US\$ 16,8 milhões para os não signatários.

CRISTAL - *Contract Regarding a Supplement to Tanker Liability for Oil Pollution* é um contrato, assinado em 1971, relativo ao aumento do limite de responsabilidade dos proprietários e fretadores de navios petroleiros (previstos no Tovalop) que estabelece a criação de um fundo caixa específico para essa finalidade, onde participam, além dos proprietários e fretadores de navios, qualquer outra empresa envolvida na produção, refino, compra e venda de petróleo, ou que receba para seu próprio consumo. No Cristal, as indenizações são pagas pelos proprietários das cargas. O teto é calculado em função da TPB e pode variar de US\$ 86.5 milhões a US\$ 170 milhões aproximadamente incluindo a participação do transportador marítimo pelo Tovalop.

O Tovalop e o CRISTAL estavam previstos para terminarem quando as metas da C.L.C. e da convenção sobre o Fundo 1971 fossem alcançadas e viessem a ser ratificadas pela maioria das nações marítimas. Mas isso não aconteceu, em parte também, porque os

¹⁴ Esses valores são expressos em SDR (Special Drawing Rights), que é uma unidade de referência usada pelo FMI e calculada com base nas cinco moedas mais fortes do mercado.

EUA se recusaram a ratificar os Protocolos de 1984 e, por isso, ambos acordos foram prorrogados até 20 de fevereiro de 1997 (Petrobrás, 1996).

A C.L.C. - *International Convention on Civil Liability for Oil Pollution Damage*, de 1969, ou Convenção sobre a Responsabilidade Civil, atribui ao armador o ônus da compensação financeira dos danos causados pela poluição por óleo e, cuja verba é assegurada por um sistema de seguro compulsório. É aplicável nas águas territoriais dos países signatários e foi ratificada por 79 países (não inclui os EUA);

P & I CLUBS - International Group of P & I Clubs e ITIA - International Tanker Indemnity Association, são associações sem fins lucrativos que assessoram e garantem aos seus membros (proprietários, fretadores, gerentes ou operadores) o certificado de capacitação financeira, isto é, garante o pagamento dos custos e da limpeza da poluição, dos custos atribuídos à recuperação dos danos causados à fauna marinha, lesões corporais da tripulação, danos a objetos fixos ou móveis como piers, etc. Esses clubes P&I e ITIA, representam, então, a garantia do cumprimento dos acordos, caso haja incapacidade financeira do transportador.

THE FUND - *International Convention on the Establishment of an International Fund for Compensation for Oil Pollution Damage* convenção de 1971, sobre a criação de um fundo internacional para indenização das reclamações causadas pela poluição. Essa convenção também estabelece a criação e a manutenção do **IOPC - *International Oil Pollution Compensation Fund***, uma organização intergovernamental fundada em outubro de 1978, que tem como objetivo estender a responsabilidade do

importador (quando provada), garantindo assim, recursos - provenientes de uma taxa sobre a quantidade de petróleo importado por ano, via marítima, por aqueles países que fazem parte da convenção - para indenizações que excedam o limite de responsabilidade do armador estabelecida pela C.L.C.

b) Convenções e Protocolos (IMO - MARPOL 73/78)

Estabelecida em 1948, em Londres, pela ONU, a **IMO - International Maritime Organization** é hoje a organização com maior destaque no campo da prevenção internacional da poluição marinha. A IMO produziu, nos últimos 30 anos, mais de 40 Convenções e Protocolos voltados para a prevenção e o controle da poluição, bem como para o combate a despejos ilegais de óleo. A mais importante de todas é a SOLAS, que inclui dispositivos especiais para petroleiros, no que tange, por exemplo, requisitos para combate a incêndio, exigindo o sistema de gás inerte¹⁵ para petroleiros de 20.000 TPB ou mais. Outra convenção importante, voltada para área de segurança, é a chamada “Regulamento Internacional para a Prevenção de Colisões no Mar”, de 1972, que estabelece tópicos especiais, como a criação de rotas de mão única para navios de porte muito grande, devido à capacidade restrita de manobrabilidade. Além disso, ela também tem outras funções, como providenciar serviços de informação, programas educacionais e de treinamento e, cooperação em pesquisa e desenvolvimento. Apesar de sua força política, a IMO, muitas vezes, não consegue assegurar a aplicação de tais providências, necessitando do apoio dos países signatários com a elaboração de

¹⁵ Em certas circunstâncias, uma fagulha pode causar uma explosão por causa do acúmulo de gases combustíveis no interior dos tanques. A solução é encher os tanques com gás inerte (não explosivo), obtido a partir dos gases gerados na queima do combustível do próprio navio, que são lavados e injetados nos espaços vazios dos tanques de carga.

legislações domésticas para garantir o cumprimento das Convenções e Protocolos estabelecidos (Botter, 1994).

Paralelamente ao Tovalop, a IMO, no intuito de proteger o ambiente marinho, adotou a **Convenção Internacional Para a Prevenção da Poluição dos Navios**, em 1973. Cinco anos mais tarde, foi revisada e complementada através de um protocolo e, agora é conhecida como **MARPOL 73/78**. A Marpol 73/78 pode ser hoje considerada a norma internacional mais importante para prevenir não só a poluição causada por petróleo, mas também outros tipos de poluição (lixo, esgoto, NOx, Sox, etc). Sua aplicação conseguiu que a quantidade de óleo introduzida nos mares e oceanos fosse bastante reduzida ou, até mesmo, completamente eliminada em algumas áreas. Abrange, entre outras coisas:

- O plano de construção de navios: com a adoção do casco duplo, localização do tanque de lastro "protegida", tanques de lastro segregado¹⁶, etc.
- A descarga de óleo dos navios petroleiros (Load-on-top, COW - Crude Oil Washing¹⁷, instalações em terra para receber e tratar resíduos oleosos, etc).
- A descarga de substâncias nocivas ("*noxious liquid substances*") a granel líquido. Essas substâncias, apesar de transportadas em pequenas quantidades, exigem cuidados especiais com normas bastante rígidas.
- A manutenção de registros de óleo em navios tanques e de produtos nocivos em navios que transportam "*noxious liquid substances*'.

¹⁶ Tanques exclusivos para lastro. Ficam vazios quando o navio está cheio de óleo e, cheios de água, quando o navio está vazio. São posicionados onde tiver maior probabilidade de ocorrer o impacto em caso de uma colisão ou encalhe.

- A manutenção a bordo de um plano de emergência contra a poluição em petroleiros com 150 TPB ou mais, aprovado pelo país no qual o navio é registrado.
- A adoção de Áreas Especiais. São áreas de alta sensibilidade à poluição por petróleo e que são protegidas por regulamentações que restringem o despejo de águas oleosas em suas águas. São elas: o Mar Mediterrâneo, o Mar Báltico, o Mar Negro, o Mar Vermelho, Golfo Pérsico, Golfo de Aden e a Antártida.

Segundo Botter (1994), o avanço mais significativo adotado para a prevenção da poluição por óleo foi a adoção de um controle portuário mais intenso praticado por alguns países, como os países membros da Comunidade Comum Européia e os países Escandinavos, cujo propósito é o de garantir que os navios visitantes, de qualquer nacionalidade, sejam inspecionados segundo normas padrão estipuladas por vários instrumentos, incluindo o Marpol 73/78. Os portos têm, inclusive, autonomia para deter um navio sob suspeita, até que o risco seja detectado e sanado, satisfazendo as autoridades locais.

Em novembro de 1990, a IMO realizou uma Conferência Diplomática na qual foi adotada a Convenção Internacional sobre o Preparo, Resposta e Cooperação para a Poluição por Óleo (**OPRC-90 - Oil Pollution Preparedness, Response and Co-operation**), além de outras resoluções importantes. Essa convenção é a base para a cooperação internacional entre os países, preocupados com o desenvolvimento e a implementação de medidas apropriadas para a resposta à poluição por óleo causada por

¹⁷ Ao invés da água, as máquinas de limpeza passaram a usar o próprio óleo de carga, como fluido de limpeza. Os resíduos oleosos, aderidos às anteparas dos tanques, são dissolvidos quando jateados por jatos de óleo da própria carga, para serem, em seguida, descarregados junto com ela.

prestar assistência, quando requisitado pelos outros. A convenção exige que os Governos estabeleçam planos nacionais de contingência, para emergências de poluição por óleo, capazes de responder imediata e efetivamente a um incidente. Além disso, os navios petroleiros com mais de 150 TPB, navios de carga seca com mais 400 TPB, instalações off-shore e portuárias ou, qualquer outra onde houver risco de poluição, são obrigados a manter Planos de Emergência para Combate à Poluição por Óleo no Mar, com equipes devidamente treinadas.

c) The Oil Pollution Act - OPA - 90

Trata-se da mais recente e polêmica legislação destinada à prevenção e combate à poluição por óleo, a **OPA-90 - The Oil Pollution Act**, dos EUA, estabelece normas muito rígidas, a ponto de Araújo (Petrobrás, 1996) comentar: "A OPA é considerada uma das mais graves ameaças reais aos transportes marítimos e de conseqüências imprevisíveis" e que, ainda segundo ele, vão contra os princípios dos Protocolos da C.L.C. Entre seus pontos principais, destaca-se:

- ◆ Aplica-se a todas as pessoas jurídicas proprietárias, operadoras ou fretadoras a casco nu de qualquer tipo de navio, não só petroleiros. As partes consideradas responsáveis responderão solidariamente.
- ◆ A lei se aplica a todos os derramamentos de óleo ou a todos aqueles navios que possam apresentar uma ameaça de poluição dentro das águas territoriais dos Estados Unidos.

- ◆ Restringe a defesa do responsável que, se for tido como responsável, pagará pela limpeza, pelos danos provocados aos recursos naturais, pela perda de renda de atividades ligadas ao meio ambiente, além de alguns custos adicionais
- ◆ A lei também fixa limites bastante elevados de responsabilidade. US\$ 1.200,00 por TPB para petroleiros acima de 300 TPB, com um mínimo de US\$ 10 milhões e, US\$ 2 milhões, no mínimo, para navios menores .
- ◆ As sanções previstas vão de multa à prisão. A multa básica é de US\$ 25 mil por dia ou US\$ 1.000 por barril de óleo derramado.
- ◆ A lei torna obrigatória a garantia de capacidade financeira para qualquer embarcação acima de 300 TPB.
- ◆ Obriga ter a bordo de todos os petroleiros um plano detalhado de emergência.

A prevenção a derramamentos de óleo abrange uma série de medidas a níveis operacionais e administrativos, mas no que diz respeito ao transporte de óleo e derivados como um todo, pode ser resumidamente descrita pela Legislação Internacional destinada para a prevenção da poluição causada por óleo.

Capítulo 3 - POLUIÇÃO MARINHA POR PETRÓLEO:

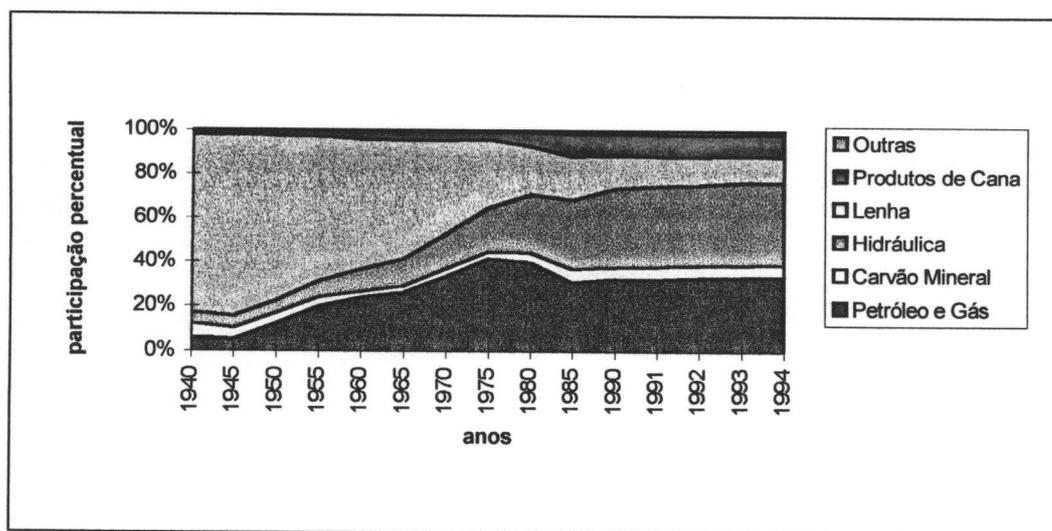
O PANORAMA BRASILEIRO

3.1. PRODUÇÃO, CONSUMO, DEPÊNDENCIA EXTERNA E TRANSPORTE DE PETRÓLEO

A utilização do óleo como fonte energética principal, nos países industrializados, é considerada por Goldemberg et al. (1988) um fenômeno recente. A alta densidade energética, a facilidade de comercialização, de transporte, armazenamento e uso do produto e, principalmente, os baixos preços praticados pelos países produtores, fizeram com que o consumo de óleo nesses países, entre 1925 e 1972, aumentasse de 2 para 45 milhões de barris/dia, numa média anual de crescimento de 6,5%.

No Brasil, o petróleo começou a ser usado, ainda no século passado, na chamada, "idade do querosene" (1859-1900), quase que exclusivamente para iluminação, e só passou a representar um papel significativo dentro da matriz energética brasileira por causa da expansão da frota de automóveis e caminhões movidos à gasolina e óleo diesel (Goldemberg et al., 1988). Por volta de 1940, a oferta interna de petróleo e gás natural representava apenas 6,1% do total, enquanto que em 1975, esse valor atingia seu ápice, representando 41,5% da oferta total de energia, como ilustra o gráfico 3.1. A partir de 1990, esse valor se estabilizou na casa dos 33%.

Gráfico 3.1: Oferta Interna de Energia - 1940/1994



Fonte: MME (1995) - Balanço Energético Nacional - 1994.

Desde a época do Império até 1953, a evolução da política do petróleo esteve diretamente ligada à da produção de óleo. Mesmo com a pesquisa franqueada a qualquer grupo privado nacional ou estrangeiro, a produção de petróleo era quase que inexistente: em 1940, o Brasil produzia apenas 6 barris por dia e, em 1950, 928 b/d. Até a criação do Conselho Nacional do Petróleo (CNP), em 1938, menos de 100 poços haviam sido perfurados na tentativa de localizar petróleo. Destes, 77 foram iniciativas das entidades do Governo (SMGB - Serviço Geológico e Minerológico do Brasil) e apenas 20 tiveram a participação de empresários privados nacionais. Mesmo durante os 15 anos de atuação do CNP, quando foram realizadas grandes descobertas de óleo no País situadas na Bacia do Recôncavo¹, na Bahia, nenhuma grande companhia internacional sentia-se motivada a participar das pesquisas (Petrobrás, 1986). De fato, a natureza pouco generosa de nossas bacias sedimentares comparadas aos campos de maiores dimensões nos EUA, Oriente Médio, Venezuela, México, etc., e a localização regiões geologicamente menos

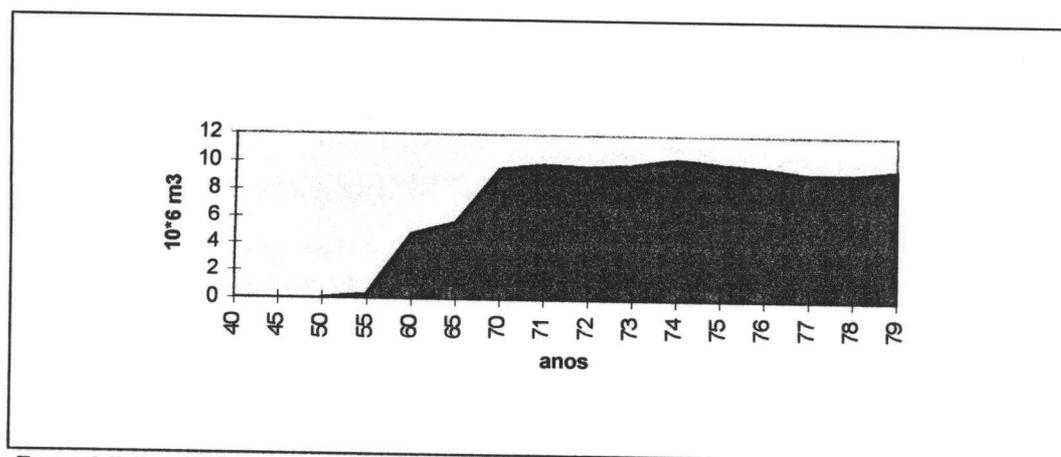
¹ 1º poço produtor foi o L-3 no Campo de Lobato, na Bahia, em dezembro de 1939 (Petrobrás, 1986).

favoráveis, não permitiam viabilidade econômica de produção (renda energética). A exploração de petróleo no Brasil constituía-se, então, em atividade de elevado risco financeiro.

A partir do momento que o petróleo começou a representar um recurso de importância fundamental para o desenvolvimento econômico e a segurança do País, instituiu-se o monopólio do petróleo (lavra, refino e transporte) e criou-se a Petrobrás para executá-lo. Entre as suas principais atribuições, as mais importantes foram aumentar a capacidade de refino no País para que se tornasse auto-suficiente no abastecimento de derivados, e intensificar os trabalhos de exploração em terra e no mar. Seus esforços foram recompensados, em 1968, com a descoberta dos primeiros poços marítimos na costa do Espírito Santo e de Sergipe (Campo de Guaricema), e em seguida, no litoral dos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Alagoas, Bahia e Rio de Janeiro.

Entre 1969 e 1979, a produção de óleo sofreu um suave declínio (Gráf.3.2) devido ao contínuo esgotamento das jazidas terrestres, e, o País só não ficou em uma situação crítica de abastecimento, graças à entrada em operação de novos campos, sobretudo na Plataforma Continental. Nessa mesma época, a taxa média de crescimento anual do consumo total (fins energéticos ou não) de petróleo também tendia a diminuir. No período compreendido entre 1969 e 1973, essa taxa chegou 12,4% a.a., enquanto que no período de 1969/79 ela caiu para 6,4% a.a. (BEN 1980), mesmo assim, a dependência externa de petróleo cresceu nesse período, na base de 12,1% a.a..

Gráfico 3.2: Evolução da Produção Nacional de Petróleo - 1940/79

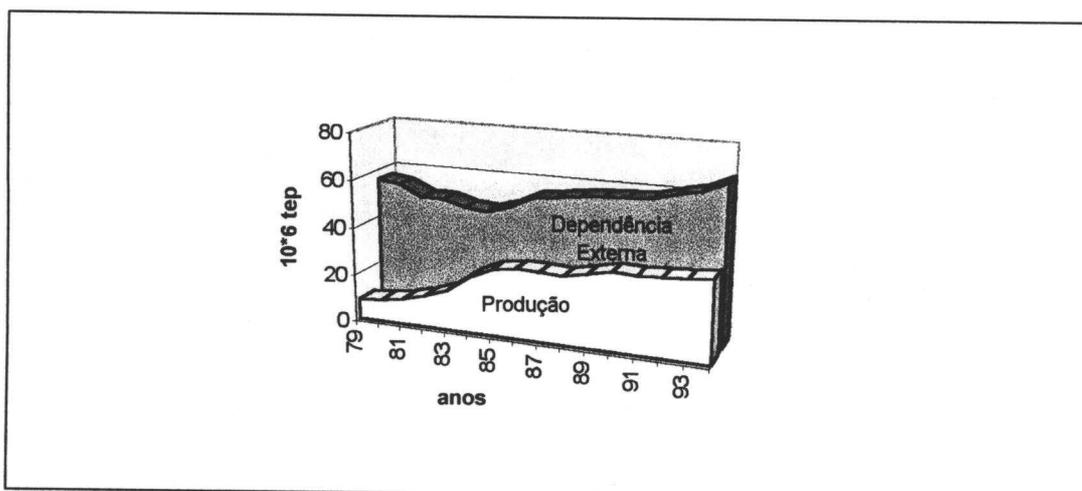


Fonte: MME (1995) - Balanço Energético Nacional - 1994.

A partir de 1979, a produção de petróleo praticamente quadruplicou, saltando do patamar de $9,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ para $38,7 \times 10^6 \text{ m}^3$ em 1994, como ilustra o Gráfico 3.3. Esse considerável aumento da produção interna de petróleo e o uso do álcool como combustível para automóveis permitiram uma redução significativa da dependência externa² de petróleo. As importações que ultrapassaram a marca de $58 \times 10^6 \text{ m}^3$ em 1979, caíram depois para cerca de $32 \times 10^6 \text{ m}^3$ em 1994, o que representou uma redução de 85% para 48% no déficit de petróleo do país, nesse período.

² Diferença entre a demanda interna de energia (inclusive perdas de transformação, distribuição e armazenagem) e a produção interna.

Gráfico 3.3: Evolução da Dependência Externa de Petróleo - 1979/1994



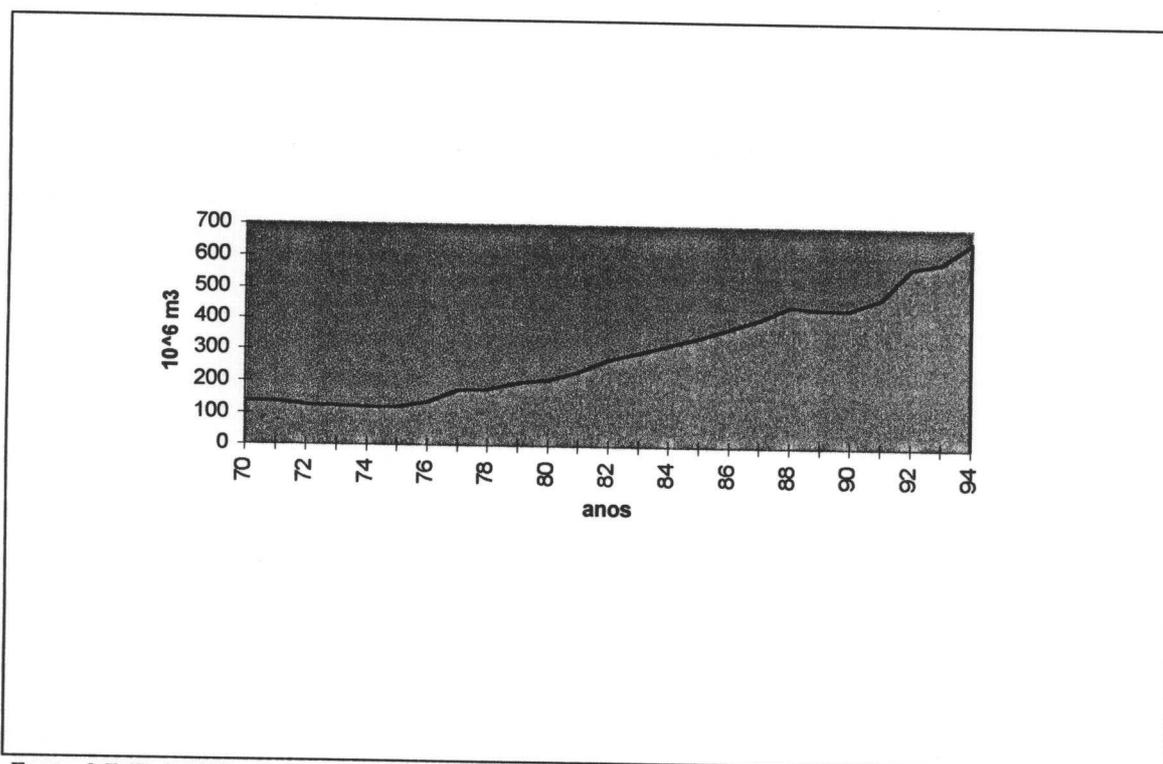
Fonte: MME (1995) - Balanço Energético Nacional - 1994.

A tendência de crescimento da produção brasileira de óleo, assegurada pelo aumento das nossas reservas de petróleo (Gráf. 3.4) e a queda do predomínio da "energia suja" na matriz energética brasileira³ não é suficiente para assegurar a auto-suficiência do Brasil em petróleo. É o que mostra também a projeção elaborada pela Petrobrás⁴ (Tab. 3.1) que estima uma diminuição progressiva da dependência externa de óleo até o ano 2000 (20% do total), quando novamente, volta a aumentar, até chegar a 37% em 2005 (como ilustra o Gráfico 3.5).

³ A participação do petróleo, lenha e carvão ("energia suja") na matriz energética brasileira caiu de 73.3% em 1973 para 51% em 1991. Nesse mesmo período a participação relativa do consumo de energia hidráulica, produtos de cana e gás natural subiu de 26.4% para 47.2%.

⁴ Material cedido pela: Gerência de Planejamento do E&P em 26/03/96, durante visita à Petrobrás

Gráfico 3.4: Evolução das Reservas Nacionais de Petróleo - 1970/1994



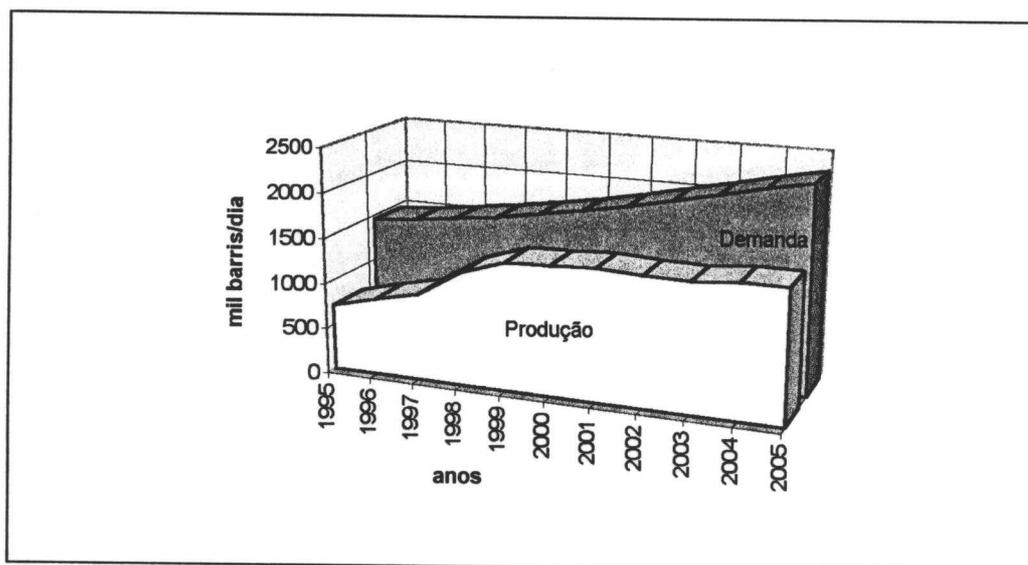
Fonte: MME (1995) - Balanço Energético Nacional - 1994.

Tabela 3.1 PROJEÇÕES - Produção e Demanda de Óleo

Ano	<u>Produção</u>		<u>Demanda</u>	
	(mil b/d)	(mil m ³ /dia)	(mil b/d)	(mil m ³ /dia)
1995	716	114	1.452	231
1996	842	134	1.496	238
1997	945	150	1.557	248
1998	1.241	198	1.616	257
1999	1.403	223	1.696	270
1900	1.422	226	1.780	283
2002	1.417	226	1.982	316
2003	1.409	224	2.088	332
2004	1.454	232	2.202	351
2005	1.454	232	2.300	366

Fonte: Petrobrás (1995).

Gráfico 3.5: Projeção da Dependência Externa de Energia

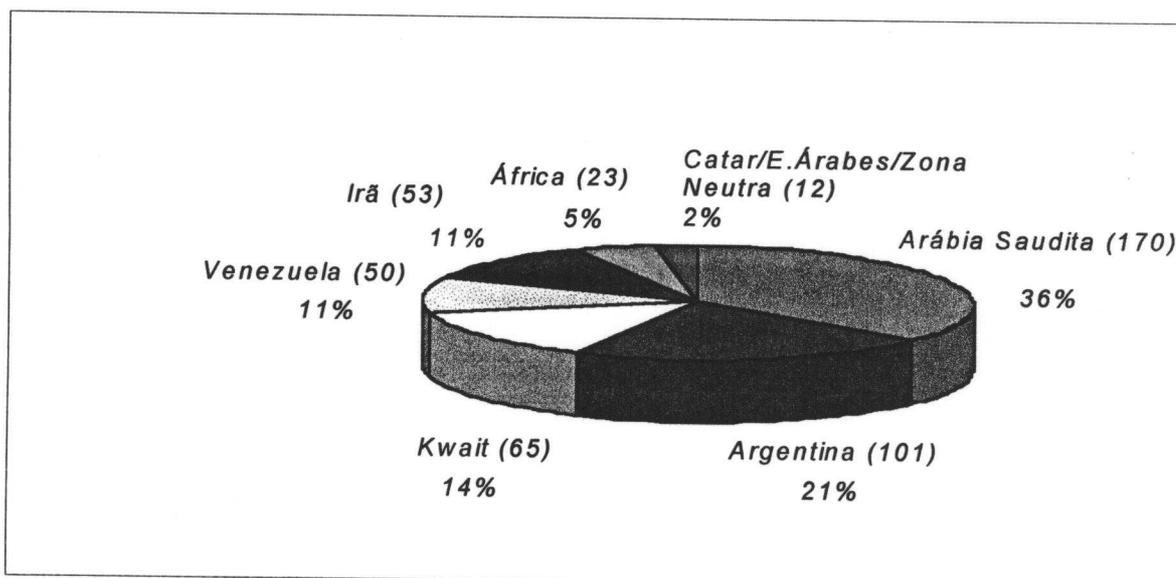


Fonte: Petrobrás (1996).

Para garantir a demanda interna de óleo, o Brasil conta com 29 bacias sedimentares produtoras de óleo. (as mais expressivas são listadas na Tabela 3.2) e uma política de importação que pode ser expressa pela distribuição percentual da origem dos óleos importados de 1994, ilustrada no Gráfico 3.6. Hoje, além das atividades garantidas pelo monopólio (lavra, transporte, e refino de óleo; comércio e distribuição de derivados), a Petrobrás e suas subsidiárias⁵ também atuam em diversos ramos correlatos ao do petróleo, como a indústria petroquímica e a de fertilizantes.

⁵ A Petrobrás tem seis subsidiárias: Petrobrás Química S.A. - PETROQUISA, Petrobrás Distribuidora - BR, Petrobrás Internacional S.A. - BRASPETRO, Petrobrás Comércio Internacional S.A. - INTERBRÁS, Petrobrás Fertilizantes S.A. - PETROFÉRTIL e Petrobrás Mineração S.A. - PETROMISA.

Gráfico 3.6: Importação Brasileira de Petróleo (mil barris/dia).



Fonte: Petrobrás (1996).

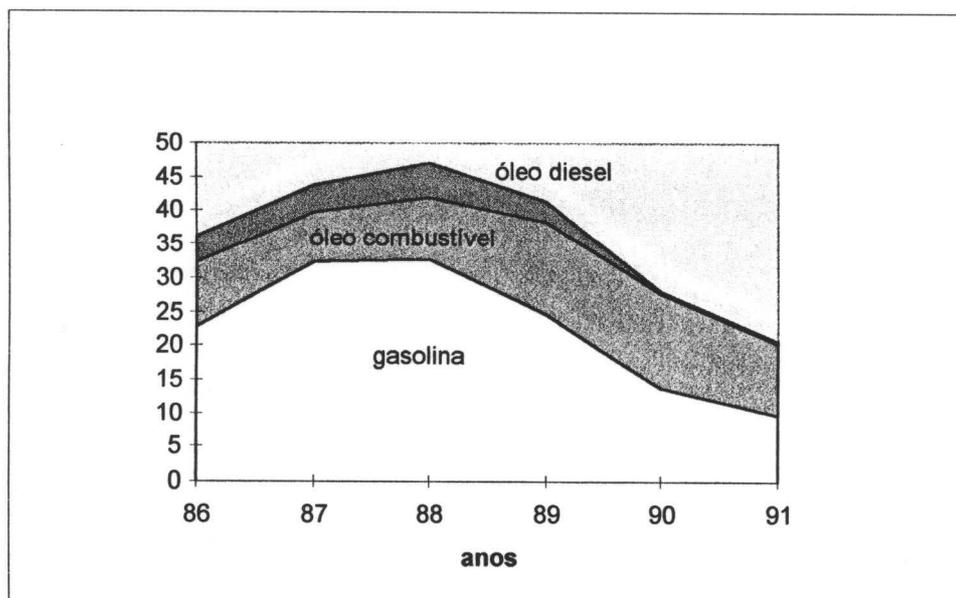
Para transportar 581 mil TPB (dados de 1994), a Petrobrás utiliza a Frota Nacional de Petroleiros (FRONAPE), além de navios afretados, que podem ser de três tipos: navios *ore-oil* (navios que levam minério e trazem petróleo), os *ore-bulk-oil* (que levam minério, granéis sólidos ou óleo) e os petroleiros (Very Large Crude Carrier - VLCC, acima de 200.000 TPB (Tonelagem de Porte Bruto) ou os Ultra Large Crude Carrier - ULCC, com mais de 400.000 TPB). A FRONAPE, em 1992, contava com uma frota de 67 navios que, eram divididos em 5 categorias:

- 18 cargueiros - fazem a *importação* do Golfo Pérsico, Venezuela, Argentina e África;
- 14 navios - transportam *produtos leves* (gasolina, querosene, álcool, nafta, etc.);
- 13 navios - transportam *produtos pesados* (importação e exportação);
- 11 navios - *transportes de cabotagem* (trânsito interno);
- 9 navios - *produtos especiais* (produtos químicos e GLP);
- 2 rebocadores oceânicos.

Em 1995, a FRONAPE, já contabilizava 74 navios petroleiros que, juntos, somavam uma capacidade de transporte de 5.6 milhões TPB de óleo.

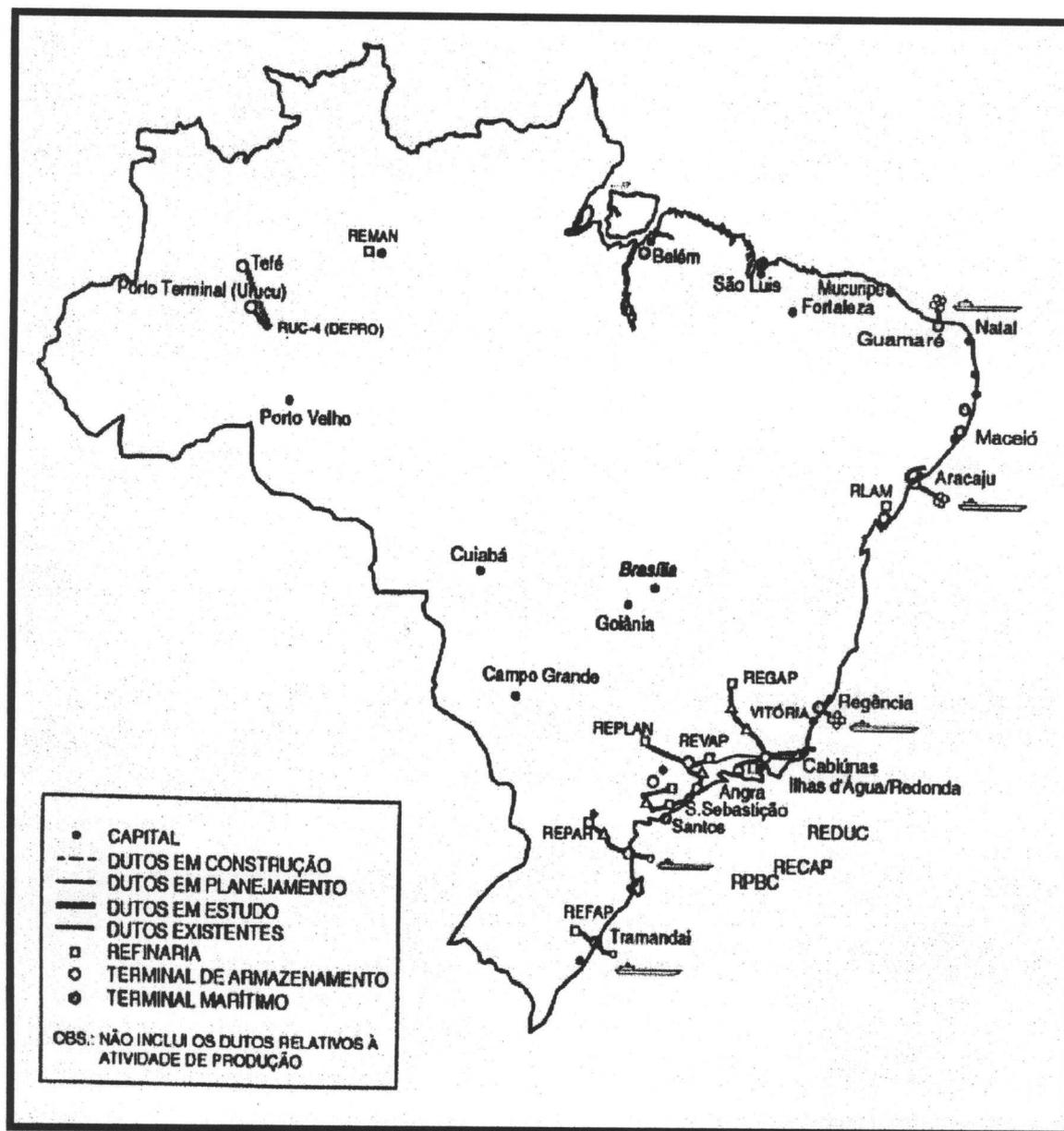
O óleo, ao chegar ao país, é descarregado em um dos 9 terminais marítimos (capacidade de armazenamento: 60 milhões bbl) localizados na costa e, depois, transferido para uma das 11 refinarias (capacidade total diária de refino de 1,5 milhões bbl) através de 6.000 km de oleodutos, transporte rodoviário e ferroviário. Processado, o óleo é transportado para os grandes centros consumidores e para os terminais marítimos (Fig. 3.1), por onde são embarcados para distribuição ao longo da costa ou para exportação - que por sinal, está em declínio nos últimos dez anos - como mostra o Gráfico 3.7.

Gráfico 3.7: Derivados Exportados nos Últimos 10 anos



Fonte: Petrobrás, 1996

Figura 3.1: Distribuição dos Terminais Marítimos, Refinarias e Dutos no Brasil.



Fonte: Petrobrás, (1996).

A produção de petróleo, atualmente, é abastecida por 7.163 poços ativos: 6.468 poços terrestres e 695 marítimos (localizados em 95 Plataformas de Produção no Mar - 77 fixas, 14 móveis -) que produzem juntos, por dia, 124.281 m³, isto é, 26% e 74% da produção total de óleo, respectivamente. Produção essa, que é transportada por oleodutos submarinos que ligam os diversos campos produtores às refinarias. A maior

parte da produção nacional vem da Bacia de Campos, localizada, no Estado do Rio de Janeiro. A maior província produtora de óleo no país ocupa uma área de 100.000 km² e é, atualmente, responsável por 68% de toda produção nacional. Mesmo tendo praticamente dez vezes menos poços ativos do que em terra, a produção é quase que três vezes maior. A tabela 3.2 mostra o desempenho das regiões produtoras de óleo no Brasil.

Tabela 3.2: Produção de Óleo no Brasil, por Região (1996)

Produção (m3/dia)	Terra	Mar	Total
Amazônia	2.962	0	2.962
RN / CE	12.707	4.193	16.900
SE / AL	5.514	1.445	6.959
Bahia	9.293	407	9.700
E. Santo	1.295	135	1.430
B. Campos	0	84.400	84.400
Sul	0	1.274	1.274
SIX	656	0	656
Total	32.427	91.854	124.281

Fonte: Petrobrás (1996)⁶

⁶ Material cedido pela: Gerência de Planejamento do E&P em 26/03/96, durante visita à Petrobrás

3.2. A POLUIÇÃO POR PETRÓLEO NO BRASIL

3.2.1 Histórico dos Derramamentos de Petróleo

No Brasil, os maiores acidentes aconteceram na década de 70 com navios afretados pela Petrobrás. Foram eles:

Tabela 3.3: Maiores Acidentes no Brasil

	Data	Volume (m ³)	Local
NAVIO			
BRAZILIAN MARINA	Jan/78	8.000	TEBAR
TARIK IBN ZIYAD	Mar//75	6.000	TORGUÁ
MARINA	Mar/85	2.500	TEBAR
THEOMANA PENELOPE	Set/91	2.150	Bacia de Campos
OLEODUTO			
OSBAT	Nov/83	3.000	Bertioga
OSBAT	Mai/88	600	São Sebastião
OSBAT	Mai/94	2.700	São Sebastião

Fonte: Petrobrás(1995).

Considerando apenas o transporte marítimo, a tonelagem da FRONAPE equivale a 1,8% da tonelagem mundial, e sua participação no total de óleo derramado anualmente é considerada mínima. Em 1990, sua participação foi de 0,147%; em 1991, 0,008%; em 1992, 0,031% e; em 1994, 0,025%.

Segundo a Petrobrás (1995), no setor naval, as falhas humanas são responsáveis por 50% das ocorrências de poluição no mar, 65% de acidentes com ferimentos, 80% dos danos à propriedade e 90% dos casos de abaloamento dos navios.

O número de acidentes no Mundo e no Brasil, no setor transporte, pode ser comparado pela tabela 3.4.

Tabela 3.4: Tabela Comparativa do Número de Acidentes por Categoria e da Quantidade de Óleo Derramado no Mundo e no Brasil

ANO	<i>Nº de Acidentes entre 7 - 700 t</i>	<i>No Brasil Navios</i>		<i>Quantidade Derramada (t)</i>	<i>No Brasil Navios</i>	
	No Mundo	Fronape	Afretados	No Mundo	Fronape	Afretados
1981	49	-	-	44.000	28	-
1982	44	-	-	12.000	17	6
1983	52	4	3	384.000	67	80
1984	24	2	-	28.000	947	2
1985	29	4	2	88.000	113	2.582
1986	25	3	2	19.000	284	60
1987	25	2	7	30.000	108	379
1988	12	6	2	198.000	1.314	36
1989	31	8	6	178.000	292	144
1990	49	3	5	61.000	90	1.399
1991	24	-	5	437.000	11	2.487
1992	31	1	-	162.000	51	3
1993	30	1	-	141.000	24	5
1994	25	-	2	71.000	18	18

Fonte: ITOPF(1995) e Petrobrás (1995).

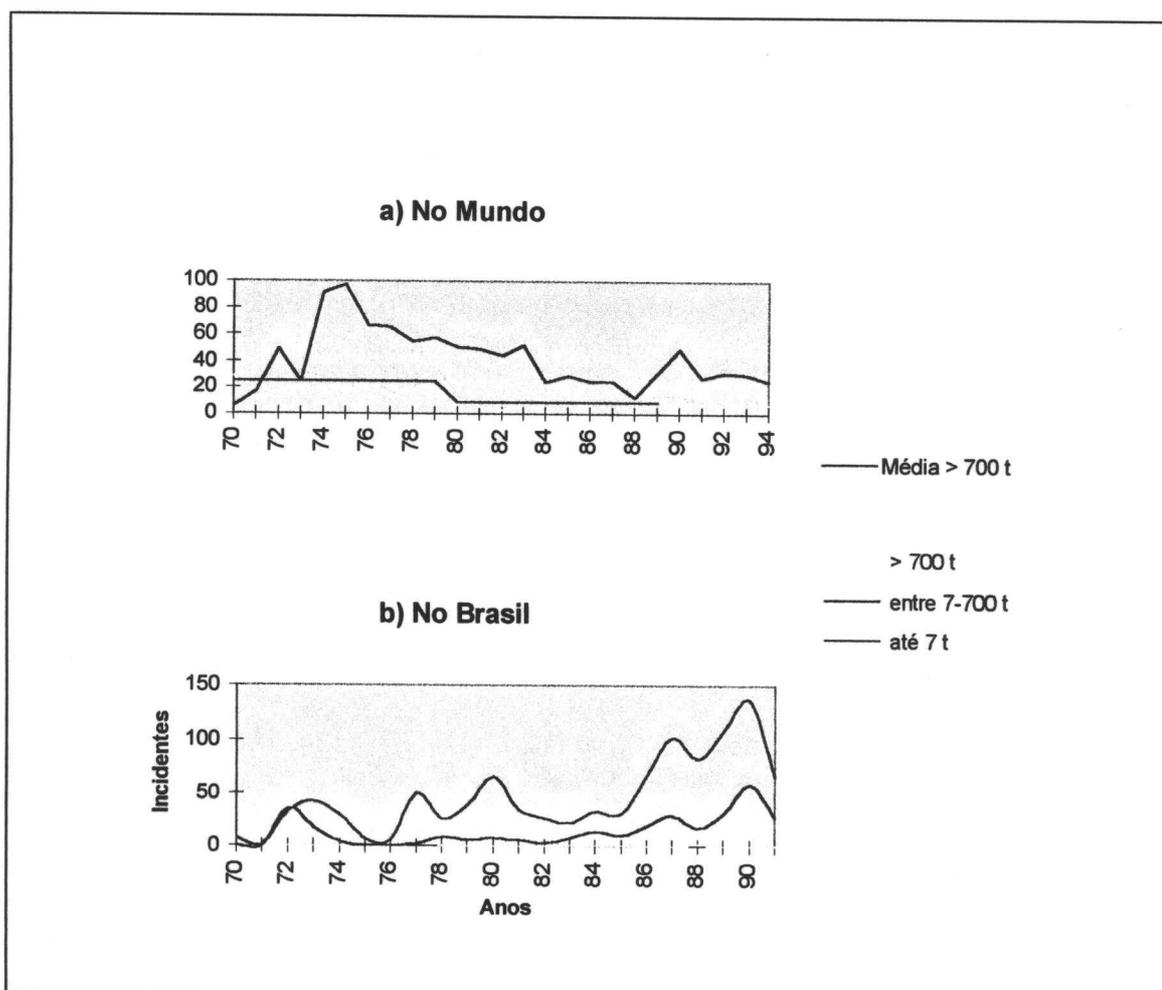
No Brasil, os bancos de dados relativos aos derramamentos de óleo são elaborados, paralelamente, pela própria Petrobrás e pelos órgãos ambientais estaduais. A CETESB em São Paulo, a FEEMA no Rio de Janeiro, e assim por diante. Até recentemente, os dados fornecidos pela Petrobrás eram mantidos em bancos de dados descentralizados, o que dificultou a aquisição dos mesmos. Depois de muito tempo à procura de tais informações, a Petrobrás se rendeu à insistência e forneceu os dados requisitados. São dados referentes aos derramamentos de óleo registrados nos portos, terminais de armazenamento e nas plataformas marítimas produtoras de óleo, desde

1968. Ao longo desses anos, foram registrados 1379 derramamentos, 51% dos quais no Rio de Janeiro, 31% em São Paulo, 11% na região Sul, 6% no Nordeste, e 1% na região Norte.

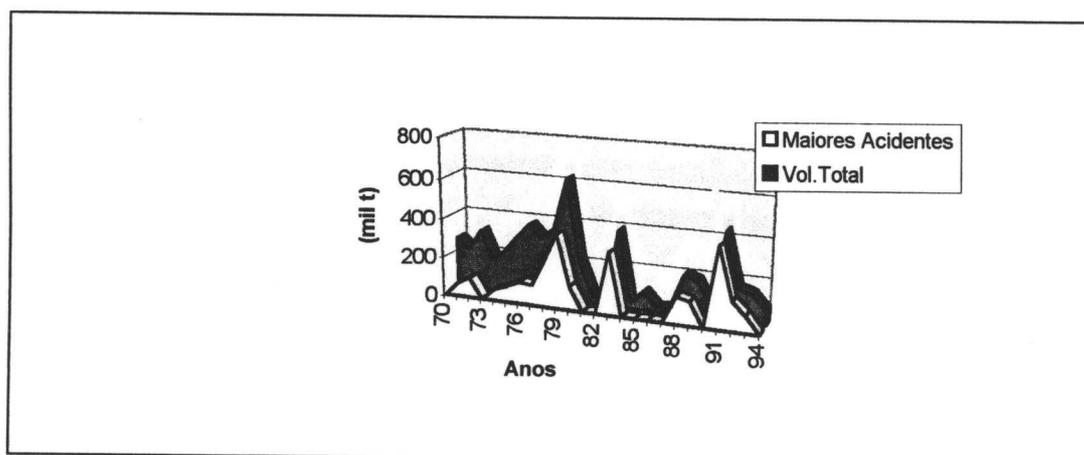
Para análise, os dados foram separados segundo a metodologia do ITOPF, em acidentes pequenos (abaixo de 8 m³), médios (entre 8 e 800 m³) e grandes (acima de 800 m³). Como a base de dados ITOPF utiliza toneladas como unidade de medida e o histórico da Petrobrás, metros cúbicos, foi adotada, para o óleo, a gravidade específica média de 0,85 Kg/l para efeito de comparação.

Os dados das Tabelas 3.3 e 3.4 e dos Gráficos 3.8 a) e b) nos permitem afirmar que, tanto no Mundo, quanto no Brasil, a incidência de grandes derramamentos é relativamente baixa. Entretanto, o que se observa nesses gráficos é que enquanto no Mundo os acidentes, de um modo geral, têm diminuído significativamente - por volta do fim dos anos 80, a média anual mundial de ocorrência desses grandes derramamentos era praticamente, dois terços menor (8.8 acidentes por ano) que na década anterior (24.5 acidentes acima de 700 toneladas/ano) - no Brasil, apesar da ocorrência de grandes acidentes ser estável, os derramamentos de médio e pequeno porte têm apresentado uma tendência crescente nos últimos anos.

Gráficos 3.8: a) Derramamentos de Óleo no Mar por Categoria por Ano no Mundo e b) No Brasil



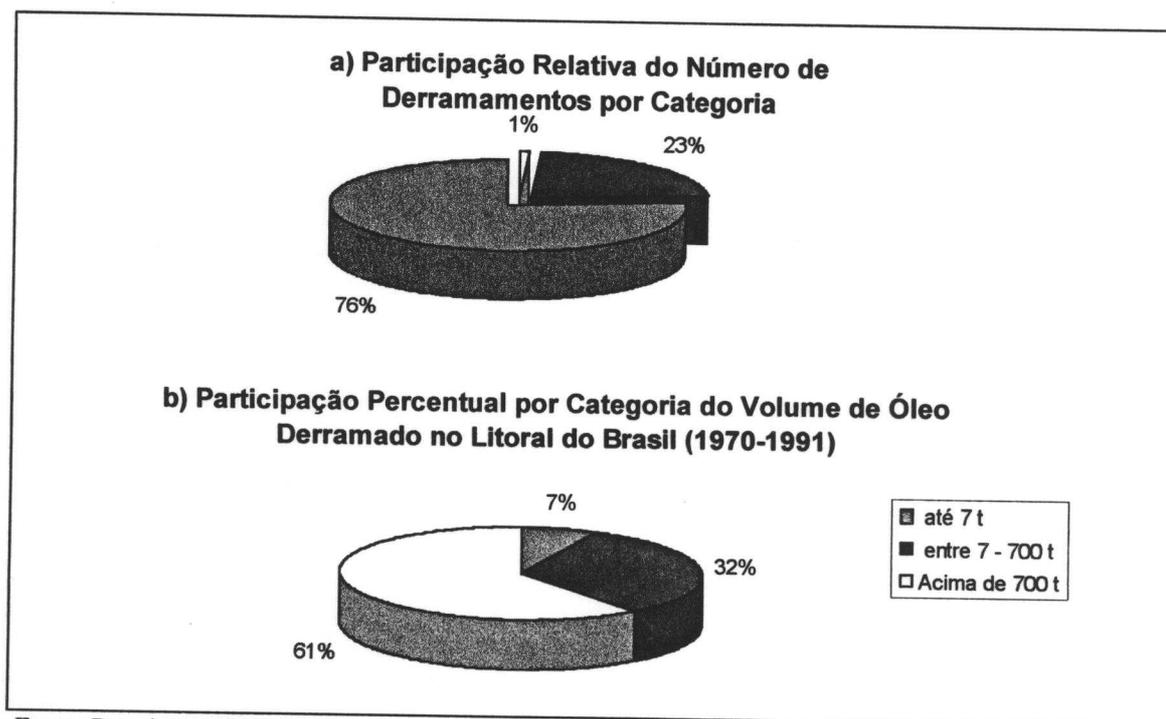
É importante notar, também, que uma quantidade muito pequena de acidentes é responsável por um grande volume de óleo derramado (Gráf.3.9). Até 1985, no Mundo, foram registrados 379 acidentes, totalizado 1,35 milhões de toneladas derramadas. Desse total, 993 mil toneladas (74%) foram derramadas em apenas 10 acidentes (menos de 3%).

Gráfico 3.9: Volume Total de Petróleo Derramado no Mundo por Ano

Fonte: ITOPF (1986).

No Brasil, pelo histórico fornecido pela Petrobrás, 1% dos acidentes são responsáveis por 61% do volume total de óleo derramado, enquanto que 76% dos derramamentos representam apenas 7% do volume total. Veja os Gráficos 3.10 (a) e (b).

Gráfico 3.10 (a) Participação Relativa e (b) Percentual do Número de Derramamentos por Categoria no Brasil.



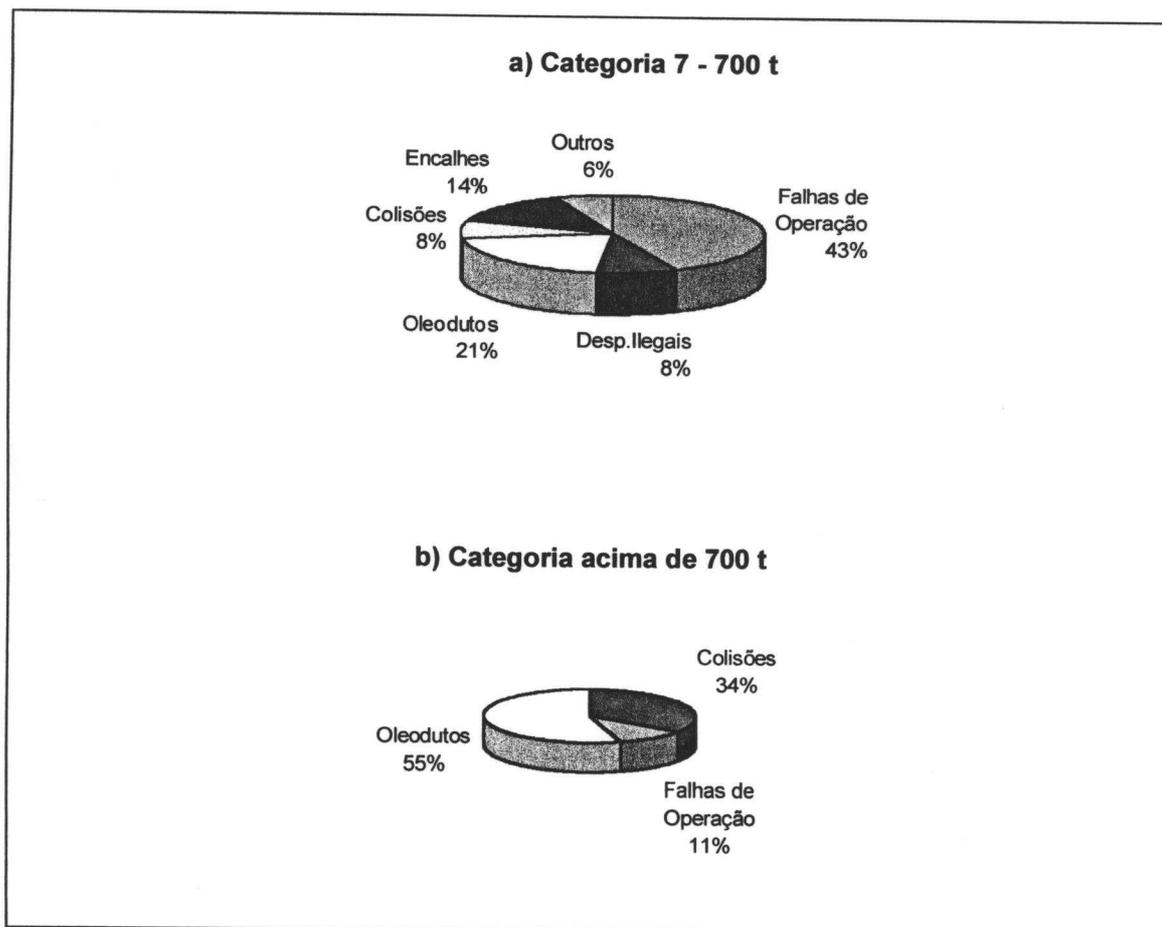
A análise das causas, também, foi feita segundo a metodologia ITOPF, ou seja, agrupando-as em *Falhas de Operações*, que compreendem as operações de carga e descarga nos terminais e plataformas de produção como transbordamentos, defeitos em válvulas, rompimentos de mangotes, etc; *Despejos Ilegais*, abrangendo as operações de lastreamento e lavagens clandestinas de tanques; *Encalhes*; *Colisões*, incluindo também rompimentos de casco; *Oleodutos*; e *Outros*, onde são consideradas outros tipos de problemas como emborcamento, adernamentos, causas desconhecidas, etc. Veja os Gráficos 3.11 (a), (b).

Alguns fatores prejudicaram uma análise mais completa do histórico apresentado pela Petrobrás. Primeiro, porque os derramamentos de óleo são registrados apenas

quando ocorridos dentro dos limites portuários ou próximos às plataformas submarinas, ou ainda, quando há alguma notificação feita pelo capitão de um navio acidentado ou denúncias feitas pela população. O que significa, que a maior parte da costa fica ausente de fiscalização e grande parte dos derramamentos sem notificação. Segundo, porque a maioria dos derramamentos são notificados e quantificados, depois de algum tempo de já terem acontecido, e por isso, não é possível se determinar o volume inicial do derrame - dos 722 casos reportados na década de 80, e utilizados nessa análise, 210 (mais de 30%) apresentam estimativas iniciais desconhecidas. Outro ponto importante é a descentralização dos bancos de dados, que até recentemente, eram alimentados e mantidos pelos respectivos terminais de armazenamento ou pelos órgãos ambientais estaduais. Com isso, os dados eram obtidos e registrados sem um padrão pré-definido, provocando assim, conflitos de terminologia na hora da interpretação. Mesmo assim, foi possível extrair as seguintes informações do histórico: dos acidentes abaixo de 7 toneladas: mais de 50% dos derramamentos registrados são causados por falhas de operação, 30% por operações ilegais e 15% causas desconhecidas; nas categoria dos acidentes ente 7 e 700 toneladas e acima de 700 t, a participação percentual em relação ao volume total derramado no Brasil na década de 80, pode ser visualizada no Gráfico 3.11, que se segue::

**Gráfico 3.11 Participação Percentual por Causa em Relação ao Volume
Total derramado no Brasil na Década de 80 por Categoria**

(a) entre 7 e 700 t e (b) Acima de 700t.



Fonte: Petrobrás (1996).

Segundo a Petrobrás (1996), o marco inicial do combate organizado aos derramamentos de óleo no Brasil deu-se com a implementação do projeto BRA/82/010 (Proteção das Costas Brasileiras Contra Poluição) do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD, em 1982, com a participação da então SEMA, hoje IBAMA, da CETESB e da Petrobrás. Como medida inicial, foi criado o Centro Modelo de Prevenção, Controle e Combate à Poluição por Óleo - CEMPOL, cujas ações são calcadas nos planos de emergência, implementado por uma Organização de Combate à

Emergência (OCE), composta por brigadas e, tendo em sua direção geral, o superintendente do terminal . Anexo ao Tebar, em São Sebastião, o CEMPOL possui recursos e equipamentos para treinamento, além de uma equipe de prontidão para agir em situações reais. Esta experiência bem sucedida deu origem a outros Centros de Combate à Poluição (Centropol) localizados em São Paulo, Cubatão, Baía de Guanabara, Angra dos Reis, Baía de Todos os Santos e Fortaleza. Treinam empregados da Petrobrás, órgãos públicos (autoridades portuárias e vereadores) e organizações não governamentais, além da população residente local.

No Brasil, o gerenciamento ambiental, principalmente na área de transportes de óleo, derivados e cargas perigosas, tem sido iniciativa do monopólio estatal, que na ausência de precauções governamentais, face à precariedade dos recursos do sistema governamental fiscalizador, aproveita-se da situação para fazer um discurso pela gestão da qualidade total apoiada no bom relacionamento que mantém com o público em geral e a mídia. A operacionalidade dos planos de contingência é descentralizado: Cada unidade operacional (terminal marítimo ou plataforma de produção) organiza seu próprio plano de emergência com treinamentos em terra e no mar. No caso de alguns estados, há também um plano regional, contemplando mais de uma unidade operacional. Mas, a nível nacional, ainda ficamos à desejar, se falarmos em organização e logística.

A legislação ambiental brasileira mais recente é considerada precária e pouco específica. A regulamentação nacional sobre a matéria, está contida na Lei 5.357, de 17/11/67, que estabelece, apenas, as penalidades para embarcações e terminais marítimos ou fluviais que lançarem detritos ou óleo em águas brasileiras.

No que diz respeito à fiscalização de normas e procedimentos de controle da poluição marinha por óleo, pose-se dizer, que essa é uma função da diretoria de Portos e Costas, do Ministério da Marina, que através do Regulamento de Tráfego Marítimo (RTM), de 1982 e modificado em 92; e da Portomaris nº.32-02 de 12/08/93 (Oliveira,1993); prevê sanções e penalidades para violações estabelecidas nas Convenções SOLAS e MARPOL 73/78. As operações de fiscalização são executadas pelo Departamento de Materiais da Marinha Mercante e pela rede de Capitania dos Portos, delegacias e agências do Departamento de Polícia Naval.

Já os órgãos ambientais, baseiam-se nas leis nºs. 6.938, de 31/08/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação; e 7.661, de 15/08/88, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro.

As relações de cooperação entre o DPC e os órgãos ambientais federais e estaduais, atualmente, se realizam por bases formais, isto é, por acordos e convênios de cooperação.

A Petrobrás, por sua vez - face à sua condição de monopólio estatal - queixa-se, que em função do monopólio do transporte marítimo do petróleo e derivados, há uma tendência generalizada da sociedade em responsabilizar a empresa por qualquer contaminação das águas e praias do país por substâncias oleosas; sem levar em consideração, os grandes petroleiros que, ao levarem óleo do Oriente Médio para os

EUA, costeiam a África para economizar combustível e, na volta, vazios e com os tanques sujos, costeiam o Brasil aproveitando-se das suas correntes marinhas.

Mesmo assim, a empresa, que é a maior beneficiária pela inexistência de uma legislação mais específica sobre o assunto, vem adotando algumas boas iniciativas no gerenciamento de riscos ambientais, como medidas preventivas, auditorias periódicas (segurança dos equipamentos e confiabilidade dos procedimentos) nos terminais, navios e plataformas; redução da idade média da frota (12 anos); e principalmente, treinamento.

Mas, uma política ambiental não é feita apenas com palavras, e algumas iniciativas, mas sim, com ações punitivas convincentes impostas pelos órgãos responsáveis e baseadas em evidências legais. Mas como fazê-lo, se a Marinha brasileira não dispõe de equipamentos (embarcações e aeronaves dedicadas), nem de mão-de-obra especializada, muito menos recursos, para atuar de uma forma ostensiva nas águas territoriais brasileiras. Atualmente, a vigilância marítima se restringe às unidades operacionais (portos, terminais e plataformas produtoras), e é feita visualmente pelos funcionários da própria Petrobrás no horário de funcionamento das respectivas unidades, ou através de denúncias da população pelo telefone, 24hs por dia.

Na maioria das vezes, os acidentes são de pequeno porte (abaixo de 7 toneladas) e são causados por falhas operacionais ou operações rotineiras ilegais. (ver Tab. 3.4). Por isso, são geralmente os próprios funcionários das unidades operacionais que

detectam os acidentes e acionam os órgãos ambientais e municipais. A Marinha, em quase todos os casos é a última a saber ⁷.

Além disso, acidentes não escolhem hora nem lugar para acontecerem, por isso, é imprescindível, que hajam mecanismos de resposta rápida e eficiente (notificação, avaliação e decisão), para que os procedimentos de contenção e limpeza do óleo derramado possam ser imediatamente iniciados.

O monitoramento das manchas de óleo, entretanto, é feito baseando-se em informações ambientais e logísticas constantemente atualizadas⁸, adquiridas (nos países desenvolvidos) por sistemas de vigilância marítima (SVM) dotados de aeronaves equipadas com radares e outros sensores, que são capazes de localizar manchas de óleo em grandes áreas, e sob condições adversas de tempo.

No Brasil, as operações de emergência ficam sob encargo da Petrobrás e dos órgãos ambientais, que se utilizam de informações baseadas em observações terrestres, marítimas e, às vezes, aérea com sobrevôos de helicóptero, mas sem nenhuma base científica. Como exemplo da ineficiência da metodologia de vigilância marítima brasileira, vejamos o exemplo do Terminal Marítimo Almirante Barroso, localizado no litoral norte do Estado de São Paulo, e que movimentava por mês mais de 50 petroleiros.

⁷ Declaração feita pelo S^{to} Souza, responsável pela assessoria de imprensa da Capitania dos Portos de São Sebastião.

⁸ Essas informações adquiridas pelo SVM são importantes para serem usadas, posteriormente, durante o planejamento de novos planos de contingência. E em derramamentos clandestinos ou cuja origem for desconhecida, são usadas para se determinar os limites da mancha (grau de dispersão), estimar o volume da mesma, prever seu destino, as variações da espessura e textura do óleo, a eficiência do uso de dispersantes e, posteriormente, a localização das possíveis fontes poluidoras.

3.2.2. Estudo de Caso: a Região de São Sebastião

(a) Caracterização da Área de Estudo

O Município de São Sebastião insere-se na Microrregião Homogênea da Costa Norte do Estado de São Paulo, composta também por Caraguatatuba, Ilhabela e Ubatuba.

A população residente nessa região é de, aproximadamente, 134 mil pessoas, cujas principais atividades econômicas são, o turismo e as atividades portuárias no Canal de São Sebastião (porto comercial e terminal marítimo da Petrobrás), que conferem especificidade à dinâmica socio-econômica do município.

O terminal de armazenamento de petróleo Almirante Barroso (TEBAR - PETROBRÁS), no canal de São Sebastião, entre as longitudes $45^{\circ} 19'W$ e $45^{\circ} 30'W$, e as latitudes $23^{\circ} 41'S$ e $23^{\circ} 53,5'S$.

O canal possui cerca de 25 Km de extensão, saídas com larguras de aproximadamente 7 km ao sul e 6 km ao norte, e uma faixa central alongada e estreita - de 2 km de largura - e uma profundidade que varia entre 30 e 40 metros. Ao sul, a profundidade é de 25 m e ao norte ela varia entre 20 e 22 m.

O comportamento hidrodinâmico do canal é caracterizado pela existência de um sistema de fluxo principal, que se altera ora para sudeste, ora para nordeste, onde registram-se também movimentos rotativos em forma de “giros”. As correntes atingem valores entre 0,5 e 1,0 m/s (1 e 2 nós), podendo chegar a 2,0 m/s (3 e 4 nós) sob a influência de ventos fortes (Anexo 1).

A ilha de São Sebastião atua, em termos de circulação marítima, como um divisor de águas vindas de alto mar, que dividem-se para o norte ou para o sul da ilha. O canal - devido às elevadas escarpas - funciona como um funil para os ventos que tomam a direção norte-nordeste ou sul-sudoeste e que se tornam mais intensos nas passagens de frentes frias, que, também, são responsáveis por influenciarem alterações nas marés (desigualdades diurnas), isto é, variações de 0,2 m na baixa-mar a 1,5 m na preamar, com amplitude média de 1,2 m e nível médio 0,66.

(b) Vigilância Marítima na Região.

Até 1968, com a instalação do terminal, as atividades sócio-econômicas da região consistiam basicamente da pesca artesanal, do cultivo de banana e do turismo; e o porto de São Sebastião era até o final do século passado o mais importante porto do Estado de São Paulo. Ao iniciarem as atividades petrolíferas, o risco de ocorrência de acidentes envolvendo derramamentos de óleo tornaram-se iminentes.

A partir do estudo de 191 ocorrências registradas, entre 1978 e 1994, na Divisão de Tecnologia de Riscos Ambientais da CETESB, foi possível percebermos alguns pontos principais que caracterizam o sistema de vigilância marítima região.

Olhando para a Tabela 3.5, que relaciona as estimativas dos volumes vazados, e de areia e óleo recolhidos, no litoral norte de São Paulo por ano, pode-se perceber que hoje, comparado com a década de 80, a situação melhorou muito. O completo descaso com o registro das informações durante as operações de contingência no passado é refletido pela ausência de dados disponíveis para um estudo mais detalhado dos procedimentos de notificação, avaliação, decisão e resposta, desenvolvidos nessas operações.

Analisando a relação da quantidade total de óleo derramado (5.306,86 m³), e do volume total de óleo recolhido (1.752,1 m³), entre 1986 e 1994, percebe-se que 33% de todo óleo derramado ficou à deriva no ambiente marinho. Além do mais, das 191 ocorrências estudadas pela CETESB (1996), 46 estão completamente sem dados e, 52 estão com os dados incompletos, isto é, sem referências precisas sobre o local de origem do vazamento ou do(s) local(is) para onde o óleo se movimentou.

Tabela 3.5: Estimativa de volume derramado e quantidade recolhida (óleo e areia) nos derramamentos de óleo, no litoral norte de São Paulo

ANO	Acidentes que atingiram o mar	Estimativa do vol. de óleo derramado (m ³) (a)	Acidentes com vol. não estimado	Estimativa do vol. recolhido no mar (m ³) (b)	b/a 100 (%)	Estimativa do vol. de areia recolhida (m ³)
1974	1	~ 6.000	1	não houve	-	não estimado
1975	-	-	-	-	-	-
1976	-	-	-	-	-	-
1977	4	não estimado	4	não houve	-	não estimado
1978	1	6.000	-	não houve	-	não mencionado
1979	-	-	-	-	-	-
1980	1	não estimado	1	não houve	-	não mencionado
1981	7	60	6	não houve	-	612
1982	7	1	6	não houve	-	não mencionado
1983	11	384,3	3	não houve	-	não mencionado
1984	12	3,6	5	não houve	-	não mencionado
1985	7	2.630,1	2	não estimado	-	1287
1986	9	289,5	2	217,4	75	376
1987	16	184,5	7	80	43	não mencionado
1988	9	1.026	3	377,7	37	560
1989	16	544	12	323	60	500
1990	15	92,5	8	53,6	58	25
1991	19	455	14	332	73	1443
1992	21	2,9	15	1	35	não mencionado
1993	17	10,4	3	7,4	71	5
1994	18	2.702	6	360	13	885
Total	191	14.385,8	98	1.753,1	12	5.693

Fonte: CETESB, 1996.

Os navios são, de longe, os maiores causadores dos derramamentos de óleo - cerca de 133 ocorrências (destes, 43% são navios da Fronape, 45% afretados, e em 11% dos casos, a origem não foi identificada).

Tabela 3.6: Causa de acidentes que atingiram o mar

CAUSA	Nº DE ACIDENTES	%
Defeito na válvula de fundo de navio	33	17
Falha operacional	25	12
Aparecimento de manchas	18	9
Furo p/ trinca no casco dos navios	15	8
Transbordamento de tanques dos navios	10	5
Ruptura no braço de descarga pier-navio	10	5
Lavagem de tanque	7	4
Defeito na válvula de descarga dos navios	6	3
Colisão de navios	5	3
Defeito do sistema de gás inerte do navio	5	3
Rompimento da linha pier-terminal	4	2
Defeito no sistema de lastro do navio	4	2
Vazamento pela caixa de mar	4	2
Deslocamento junto à linha do convés	3	2
Oleoduto	3	2
Extravasamento do separador de água e óleo	3	2
Causas não apuradas	13	7
Causas não identificadas	6	3
Outros	17	9
TOTAL	191	100

fonte: CETESB (1996).

É oportuno frisar, também, que nos casos em que são contabilizados os volumes, as metodologias adotadas não possuem nenhuma base científica e, portanto, os valores geralmente são estimados. A exemplo do que ocorre no mundo, a maioria dos acidentes são de pequenas proporções, e a maior parte do volume derramado (no caso 90%) é atribuída aos poucos, mas catastróficos acidentes, o que exige dos coordenadores dos planos de ação rapidez de resposta, que só é alcançada com informações disponíveis para se orientarem, como o tamanho do derramamento, a movimentação da mancha, as condições climáticas atuais e futuras, as áreas prioritárias de proteção, os equipamentos e mão-de-obra disponíveis, os métodos tecnicamente aplicáveis de contenção e

remediação, as considerações legais e regulatórias, e as condições de transporte e telecomunicações. Informações essas, que são prontamente fornecidas por sistemas de vigilância marítimo (SVM) logo após o derramamento e durante a resposta.

Dos 191 casos estudados, 97 deles (51%) não possuem estimativa de volume. Além disso, das 93 ocorrências que possuem informações completas sobre os deslocamentos das manchas, na sua maioria, o óleo permaneceu próximo ao pier na região central do canal. Nos 69 casos restantes, houve a contaminação de praias e costões. A quantidade total de praias atingidas por manchas de óleo nos 191 acidentes é muito elevada, 84, e a incidência do número de vezes que essas praias foram atingidas, muito maior, 312 vezes. Sem falar em outras áreas sócio-econômicas importantes como os iates clubes de Ilhabela, muitos barcos particulares e pesqueiros, redes de pesca, fazendas de mexilhões, propriedades particulares, etc. A CETESB enfatiza, ainda, que esses números estão subestimados. Portanto, se considerarmos as operações de resposta de contingência dos acidentes lá ocorridos, veremos que a necessidade de se utilizar mecanismos mais confiáveis de monitoramento são imprescindíveis. Vejamos o porquê em alguns exemplos:

(c) Casos de Acidentes na Área de Estudo

Nesse item, foram escolhidos três acidentes, um de médio e dois de grande porte (acima de 700 t), para que o processo de vigilância e as operações de resposta emergencial praticados na região fossem analisados. Nessa rápida análise, devido principalmente à ausência de informações úteis, serão feitos, apenas, comentários

qualitativos das “operações de resposta e emergenciais” desenvolvidos pela Marinha, CETESB e Petrobrás (OCE).

1. Operação N/T (Navio Transatlântico) WORLD GALLA

Histórico:

No **dia 1º** de março de 1981, às 20:00h, durante uma operação no terminal de armazenamento da Petrobrás de São Sebastião, 60 m³ de óleo vazaram e se deslocaram para o norte, sentido Ubatuba. Em virtude do horário, as operações só começaram na manhã do segundo dia.

No **2º dia (02/03)** pela manhã, a Capitania dos Portos fez uma vistoria por mar, mas não foi encontrado óleo no canal; porém, durante à noite e na madrugada do terceiro dia, “o vento empurrou o produto para as praias da Ilhabela, da Ponta das Canas até Barra Velha, espalhando-se por cerca de 10 Km de praias e costões”.

Nos **3º e 4º dias (03 e 04/05)**, foram feitos dois sobrevôos para vistoria das praias, mas não há dados sobre o tamanho nem da direção das manchas.

Durante o sobrevôo da manhã (9:30h) no **5º dia (05/05)**, foi observado um filme de óleo saindo pelo norte do canal de São Sebastião, em direção à Caraguatatuba, sentido Massaguassu / Ilha do Tamanduá.

E do 6º ao 20º dia (06 a 24/05), não há dados sobre o acompanhamento da mancha. Neste período foram desenvolvidos os trabalhos de remoção de óleo na areia das praias, jateamento dos costões, limpeza das embarcações e demais estruturas atingidas pelo produto. Em 20 dias, 15 praias, costões, estruturas portuárias, residenciais e comerciais e de lazer, foram poluídas.

Comentários:

Nesse exemplo de acidente causado por falha operacional, foi derramado um volume de óleo relativamente grande no mar e, mesmo assim, as operações de monitoramento e de remoção do óleo só foram iniciadas pela manhã do segundo dia. Nesse caso, com um SVM em operação, em menos de 20 minutos já teríamos imagens e as previsões do comportamento da mancha disponíveis. O monitoramento permaneceria durante os dias seguintes, e os sobrevôos passariam a ser definidos em função das previsões da trajetória da mancha. Com certeza, grande parte dos 10 km de praias, costões e outros ecossistemas não teriam sido atingidos, economizando-se tempo e dinheiro com as operações de remoção de óleo.

2. Operação TEBAR III

Histórico:

Dia 1º de maio, dia 02/05, à meia-noite e meia, o rompimento do oleoduto que liga São Sebastião à Bertioga rompeu, permitindo que 1.000 m³ de óleo tipo

“Shengi” vazasse para o mar. O local do vazamento só foi localizado às 11:00h da manhã do dia seguinte (segundo a CETESB), devido às dificuldades de acesso. A ruptura do oleoduto aconteceu no km 140,5 da rodovia Prestes Maia, nas proximidades do Costão do Navio, entre a estrada e a praia Brava. O óleo escoou por valas naturais (cachoeiras), atingindo a praia e depois o mar. Nesse dia iniciaram-se as atividades de remoção do óleo pela Petrobrás;

No **2º dia (03/05)**, os trabalhos de reparo na linha do oleoduto prosseguiram com o recolhimento do óleo do mar, em frente à praia Brava, Guaecá e Baraqueçaba. Em sobrevôo, de horário não mencionado, foi observada uma grande quantidade de óleo no canal de São Sebastião, sem mencionar a extensão da mancha, nem sua posição exata;

No **3º dia (04/05)**, durante a madrugada, as praias de Guaecá e Baraqueçaba receberam mais óleo e os trabalhos de remoção deste produto continuaram até às 12:00hs, quando começou a chover. Ainda havia muito óleo na praia Brava e nas imediações. Mesmo com barreiras, chegaram finas camadas de óleo, à tarde na praia do CEBIMar, mas não houve necessidade de remoção. Registrou-se a presença de uma grande mancha ao norte da Ilhabela, mas sem que sua extensão fosse mencionada. Não há detalhes de sua localização.

Pela manhã do **4º dia (05/05)**, continuaram os trabalhos de remoção do óleo na areia das praias de Guaecá e Baraqueçaba. À tarde, chegou mais óleo nessa última e também na praia da Vila (ou do Centro), em Ilhabela, mas em pouca quantidade, não

havendo necessidade de remoção. O óleo estava se degradando cada vez mais na praia Brava;

No **5º dia (06/05)** pela manhã, havia algumas manchas degradadas, deslocando-se para sul do canal, sem detalhes de posicionamento. À tarde, houve uma inversão e pode-se observar que elas entraram pelo canal, também sem encostar nas praias.

Nos **6 e 7º dias (07 e 08/05)** de manhã, foram vistas manchas ao sul do canal de São Sebastião e, à tarde, nas partes central e norte, de forma iridescente, sem detalhes de localização;

No **8º dia (09/05)**: Chegada do óleo, como piche, em Ubatuba: Enseada, Toninhas e Grande;

No **9º dia (10/05)** houve o aparecimento de mais óleo nas praias Vermelha e Tenório, em Ubatuba; e nas praias de Guaecá, Baraqueçaba e Grande, em São Sebastião;

Nos **10º a 12º dia (03/05)**: finalizaram os trabalhos de remoção do produto das praias, mas ainda havia óleo degradado na praia Brava.

Comentários:

Na operação TEBAR III, a participação do SVM seria mais destacada, uma vez que, foi um acidente de grandes proporções, que ocorreu à noite e cuja origem era

desconhecida. Nesse caso, o acidente já teria sido detectado, mapeado e as devidas previsões, feitas na mesma noite. No segundo dia, apesar dos esforços da Petrobrás para o monitoramento das manchas à tarde, à noite, elas atingiram mais praias - um horário em que, com o SVM disponível, as manchas seriam facilmente localizadas. Além disso, nos dias seguintes, um maior número de praias só não foram atingidas por pura sorte, pois as manchas ficaram à deriva, sem o mínimo monitoramento, até que atingiram mais praias em São Sebastião e Ubatuba.

3. Operação TEBAR IV

Histórico:

Por volta das treze horas do dia 15 de maio de 1994, a DPR, Divisão de Tecnologia de riscos Ambientais da CETESB, através de seu funcionário local, foi informada pela Petrobrás sobre a presença de uma mancha de óleo nas proximidades da praia Brava.

Em vistoria realizada por técnicos da CETESB, e a equipe do CEMPOL - Centro de Modelo de Prevenção, Controle e Combate à Poluição do Mar, foi constatada a presença da referida mancha, não sendo no entanto, identificada sua procedência. Devido às condições adversas do tempo, as operações de contenção e recolhimento foram encerradas às 17:30h.

Por volta das 20:00h desse mesmo dia, a Petrobrás informou ao funcionário da DPR, que às 19:45h havia sido constatada a queda da pressão no oleoduto OSBAT. Naquela ocasião, o sistema OSBAT operava com óleo “Sergipano Terra” e uma vazão de 1.250 m³/h. A Petrobrás informou ainda que uma equipe do CEMPOL encontrava-se em campo para tentar localizar o ponto de vazamento do oleoduto. Somente por volta das 23:30h foi descoberta a origem.

A ruptura do oleoduto aconteceu no km 139 da rodovia Prestes Maia, que liga São Sebastião à Bertioga, nas proximidades do Costão do Navio, entre a estrada e a praia Brava. O óleo escoou por valas naturais (cachoeiras), atingindo a praia e depois o mar. Mas devido ao horário e às condições adversas de tempo não foi possível iniciar o trabalho de combate ao vazamento.

Somente no dia seguinte, por volta das 5:30h, uma equipe do CEMPOL realizou um monitoramento marítimo na região, constatando a presença de 3 manchas entre as praias Brava e Guaecá (próximas à costa), além de outras manchas menores próximas, quando se iniciaram os trabalhos de remoção do óleo.

Essas atividades foram acompanhadas pelo técnico da CETESB em São Sebastião, que ao constatar a gravidade da situação acionou o plantão da DPR, em São Paulo e solicitou a mobilização da equipe de atendimentos emergenciais para atuar na ocorrência.

Baseadas em observações, marítimas, terrestres e aéreas realizadas durante 19 dias após o acidente, foi elaborada a seqüência sobre o deslocamento do óleo no mar. O deslocamento do óleo no mar começou a ser acompanhado no dia 16 de maio, por volta das 5:00h, a partir do Costão do Navio. Foi constatada a formação de manchas de grandes proporções deslocando-se à Ponta da Sela (Ilha Sul) sentido Alcatrazes e também para o interior do canal. “Muito possivelmente estes dois segmentos de manchas se fundiram nos dois dias seguintes a norte da ilha de São Sebastião, entre as ilhas do Tamanduá e Vitória, estendendo-se por cerca de 35 km no 12º dia até a ilha das Covas (Ubatuba)”.

Esta grande mancha ficou à deriva entre os dias 17/05 e 01/06 sofrendo processos de degradação, depois dividiu-se em partes menores, que retornaram ao canal, poluindo várias vezes praias e costões do canal. Outra parte se deslocaram em sentido à Caraguatuba atingindo praias de Guaecá e Baraqueçaba. Outras manchas menores que continuaram a ser formar de forma intermitente em frente ao Costão do Navio também se movimentaram nesse sentido.

No final da operação, 32 praias (78 vezes) e 4 ilhas de Ilhabela, Caraguatuba e Ubatuba foram atingidas. E, segundo a CETESB, “quanto à frequência com que foram atingidas, há possibilidades de que o número de vezes possa ser até maior do que o mencionado, principalmente nas ilhas e áreas fora do canal devido às dificuldades de acompanhamento diário de toda a região”.

Comentários:

Embora visivelmente melhor que nas duas operações anteriores, o processo de notificação, avaliação e resposta foram mais uma vez prejudicadas pelo horário, condições do tempo, e local de difícil acesso do acidente. Com o SVM em operação, o local do acidente teria sido localizado na mesma hora da notificação, e não 7 horas depois, com informações precisas da localização, espessura e trajetória das manchas em tempo real, e não 16 h depois, quando foram feitas as primeiras avaliações do acidente.

Ainda em relação às operações anteriores, nesse caso houve um grande avanço devido, principalmente, ao acompanhamento terrestre, marítimo e aéreo das manchas de óleo, permitindo “até” elaborar um croquis do deslocamentos da mancha. Mas a morosidade no fluxo de informações, causada pela ausência de equipamentos capazes de monitorar manchas de óleo em grandes regiões (aeronaves dedicadas), de quantificar o volume, e de prever as trajetórias das manchas, com transmissão de dados em tempo real, praticamente anularam os esforços das brigadas de resposta e monitoramento. Portanto, pelos esforços despendidos e pelos resultados obtidos, a metodologia adotada para a vigilância marítima na região, apesar de ter melhorado muito nos últimos anos, ainda está aquém das necessidades da região e das obrigações dos órgãos competentes.

Capítulo 4 - UM SISTEMA DE VIGILÂNCIA MARÍTIMA POR RADAR (SVM) APLICADO À POLUIÇÃO POR ÓLEO

4.1. HISTÓRICO

Segundo Ulaby et al.(1981), foi o alemão Heinrich Hertz, em 1886, o primeiro a desenvolver experiências envolvendo freqüências de microondas, ao testar, experimentalmente, a teoria eletromagnética de Maxwell. Ele demonstrou que vários objetos, metálicos ou não, refletiam radiação numa freqüência de aproximadamente 200MHz.

A primeira demonstração prática do RADAR (acronismo de RAdio Detection And Ranging) envolvendo a detecção de navios foi feita por Hülsmeier, em 1903, mas foi somente em 1922, que ele se mostrou ser uma ferramenta apropriada à detecção de navios e aeronaves. Entretanto, foi na 2ª Guerra Mundial, que o Radar ganhou reconhecimento internacional, pois permitia detectar e medir a distância de aeronaves hostis, auxiliando o combate antiaéreo.

Para Sabins,Jr (1987), foi na década de 50 que o primeiro Radar Aerotransportado de Visada Lateral (SLAR) foi desenvolvido, e segundo Madsen (1994), ele foi o primeiro sensor radar a ser utilizado no imageamento de derramamentos de óleo. Na época, sua grande utilidade era a de permitir um imageamento sem que houvesse invasão do espaço aéreo inimigo. Ele se diferenciava dos radares até então

existentes (B-Scan e PPI), principalmente, pela maneira de aquisição das imagens¹. Já o Radar de Abertura Sintética (SAR - Synthetic Aperture Radar), foi desenvolvido por Wiley, em 1952, e era chamado de "Doppler Beam-Sharpening". Sua principal diferença em relação ao SLAR é que ele permite obter imagens com resolução espacial mais fina, independentemente da distância do radar, podendo, assim, ser utilizado tanto em plataformas aerotransportadas, quanto em plataformas orbitais.

De acordo com Manning, et al. (1980), a utilização de satélites para a vigilância de derramamentos de óleo iniciou-se em meados da década de 70, quando foi fundado, pela Guarda Costeira Americana, o Instituto de Pesquisas Ambientais de Michigan, cuja função era a de desenvolver um experimento demonstrando as possibilidades do sensor ERTS-1 (Landsat 1) e do Satélite SKYLAB para a detecção de óleo no mar. Quatro derramamentos suspeitos foram imageados e investigados através de foto-interpretção e de técnicas digitais computadorizadas. Os resultados, porém, indicaram que tanto o ERTS-1, quanto o SKYLAB, não eram operacionalmente apropriados para a vigilância de derramamentos de óleo por uma série de fatores: suas freqüências orbitais eram muito longas, possuíam poucos canais espectrais, com bandas muito extensas e gastava-se muito tempo para que seus dados fossem processados.

Desde então, houve um avanço acelerado nas técnicas de sensoriamento remoto, principalmente, pelos grandes benefícios econômicos trazidos comparados aos métodos tradicionais de monitoramento, e por permitir a observação, em escala global, contínua e

¹ Os primeiros radares a serem construídos foram os tipo B-Scan e PPI (Plan Position Indicator) cujas imagens eram obtidas pela rotação das antenas e formadas num tubo de raios catódicos.

constante dos continentes, da atmosfera e dos oceanos. Como resultado, passaram a acontecer uma série de eventos que marcaram a história do sensoriamento remoto aplicado à poluição marinha. Em 1976, a França desenvolveu, com a cooperação da Guarda Costeira Americana, para o Encontro dos Desafios da Sociedade Moderna da Organização do Tratado do Atlântico Norte (NATO), um plano piloto no intuito de determinar o estado-de-arte do sensoriamento remoto (orbital e aerotransportado) aplicado à detecção do óleo e de outras substâncias nocivas ao mar. Uma das conclusões a que chegaram, foi que o sensor SAR seria, no futuro, o sensor orbital mais apropriado para o controle da poluição marinha (Massin, 1983). Logo depois, em 1977, o Canadá garantiu sua participação no programa SEASAT, ao implementar o SURSAT (Surveillance Satellite), que provou a utilidade dos sensores microondas no monitoramento do tráfego oceânico, do gelo, do clima e da poluição marítima. O satélite civil NASA SEASAT, que operou de 26 de junho a 10 de outubro de 1978, foi destinado inicialmente para investigar fenômenos oceânicos (rugosidade, padrão das correntes e condições do gelo no mar). Foi, também, a plataforma orbital precursora em carregar uma série de instrumentos dedicados, exclusivamente, à observação do mar, e que, posteriormente, também se mostrou eficaz na observação dos continentes. Entre eles, quatro sensores microondas², sendo que o de mais repercussão era, sem dúvida, o Radar de Abertura Sintética (SAR), com 25m de resolução espacial, possibilidades de operação sob quaisquer condições de tempo e luminosidade e que parecia ser capaz de detectar manchas de óleo no mar³ (Muller-Karger, 1992).

² Radar altímetro (ALT), Radar de Abertura Sintética (SAR), Escatômetro de Vento (SASS) e o Radiômetro Escanador de Microondas Multicanal (SMMR). Esses instrumentos ainda tinham o suporte de um Radiômetro Visível e Infravermelho.

³Nessa época não era possível distinguir, com alto grau de precisão, as manchas de óleo dos filmes provocados por fenômenos naturais.

Em 1977, a França desenvolveu dois grandes projetos de vigilância marítima utilizando sensores remotos Aerotransportados. Num deles, usando sensores infravermelhos, 1.115 navios foram monitorados em 77 dias de investigação (170 horas de vôo), registrando 24 derramamentos de óleo, dos quais 15 eram, particularmente, significantes e 9 foram julgados suficientemente grandes para serem posteriormente investigados pelas autoridades competentes.

Em junho de 1979, a Guarda Costeira Americana requisitou ao Centro Aeroespacial Goddard imagens do sensor MSS (Multispectral Scanner) dos satélites Landsat 2 e 3 (faixa visível do espectro eletromagnético) para serem utilizadas de suporte ao controle da poluição causada pela explosão do poço de petróleo IXTOC-I no Golfo do México. Além do Landsat, outros três satélites detectaram as manchas (de até 100 Km), mas apresentaram algumas limitações (pouca resolução, ângulo solar e limitações climáticas). Foram eles, os satélites meteorológicos NIMBOS-7, com o sensor CZCS (Coastal Zone Colour Scanner) ou "Scanner" Colorido da Zona Costeira, que tinha como objetivo imagear as mudanças sazonais da qualidade da água do mar⁴; o GOES; e o TIROS N, com o sensor AVHRR ou Radiômetro Avançado de Altíssima Resolução (Advanced Very High Resolution Radiometer), responsável pela delineação (em infravermelho) das cristas das ondas e das características da circulação oceânica (Manning, Jr e Vollmers, 1980).

⁴As condições de um corpo d'água pode, resumidamente, ser refletida pelo resultado da interação entre a irradiação da luz solar visível, a água, substâncias como o plâncton, sedimentos suspensos e materiais orgânicos coloridos dissolvidos.

Mais tarde, a NASA lançou mais dois outros sensores microondas ativos iguais ao Seasat - SAR (banda L e polarização horizontal), através do ônibus espacial Shuttle: o SIR-A (1981) e o SIR-B (1984), cujas missões serviram de exemplo para o desenvolvimento de novos sensores radar e novas pesquisas, como foi o caso das campanhas ARCHIMEDES I, II e II-A que utilizaram o sensor de microondas ativo SARSCAT para, entre outras coisas, detectar manchas de óleo no Mar do Norte.

Ao longo desses anos, aconteceram encontros (“workshops”) e conferências sobre o assunto. Entre eles, os encontros de Washington D.C., em abril de 1979, e o da França, em outubro de 1982, cujas conclusões estabeleceram diretrizes básicas, seguidas até hoje, na escolha de equipamentos e na definição dos projetos de vigilância marítima (Massin, 1983). A real comprovação do interesse em sensoriamento remoto aplicado à ambientes marinhos foi demonstrada em 1993 com a primeira conferência temática de sensoriamento remoto aplicado em ambientes costeiros e marinhos. A segunda, veio logo em seguida, no começo de 1994, na cidade de Nova Orleans, Louisiana, EUA; e a terceira, em setembro de 1995, em Seattle, Washington, EUA. Em todas elas, a problemática dos derramamentos de óleo é tratada separadamente e com especial atenção, uma vez que, de longe, a detecção e o mapeamento de manchas de óleo no mar são as aplicações mais comuns do sensoriamento remoto aplicado à poluição marinha (Clark, 1993).

Atualmente, há três satélites SAR orbitais que são capazes de detectar manchas de óleo no mar. São eles: o ERS-2 (2º Satélite Europeu de Sensoriamento Remoto), o JERS-1 (1º Satélite Japonês para estudo de Recursos Terrestres) e o RADARSAT.

Tabela 4.1: Sistemas SAR orbitais

<i>Sistemas Orbitais</i>	<i>NASA</i>	<i>NASA</i>	<i>NASA</i>	<i>ERS-1 e 2</i>	<i>J-ERS-1</i>	<i>RADARSAT</i>
Informações Gerais						
Plataforma	SEASAT	Shuttle	Shuttle	ERS-1	J-ERS-1	Dedicada
Agência	NASA	NASA	NASA	ESA	MITI/NASDA	CSA/EUA
País	EUA	EUA	EUA	CCE	Japão	Canadá
Lançamento	26.6.78	12.11.81	5.10.84	16.7.91	11.2.92	1995
Vida Útil	3 meses	2,5 dias	8 dias	2 anos	2 anos	5 anos
Radar						
Banda	L	L	L	C	L	C
Frequência (GHz)	1,275	1,278	1,282	5,25	1,275	5,3
Polarização	HH	HH	HH	VV	HH	HH
Âng. Incidência (°)	23	50	15-64	23	38	<20 - >50
Res. Alcance (m)	25	40	25	26	18	10 - 100
Res. Azimute (m)	25	40	58 - 17	28	18	9 - 100
Visadas	4	6	4	6	3	1 - 8
Faixa Varredura (Km)	100	50	10 - 60	100	75	10 - 500
Missão						
Altitude Nominal (Km)	800	260	350, 225	777	568	~800
Inclinação (°)	108	38	57	98,5	97,7	98,6
Taxa Transmissão(Mb/s)	110	-	30	105	30(x2)	74-105
Ciclo Repetição(dias)	17,3	-	-	3, 35, 176	44	24

Fonte: Novo et al. (1994).

4.2. PROPOSTA TÉCNICA DO SISTEMA DE VIGILÂNCIA MARÍTIMA

(SVM)

O Brasil é um país de dimensões continentais e clima tropical. Suas regiões costeiras (7491 Km) são áreas consideradas de alta sensibilidade ambiental (regiões de

diversificada variedade de recursos naturais), compostas por ecossistemas como bentos, brejos, restingas, lagoas, praias, mangues, etc., e que convivem com cerca de 33 milhões de habitantes (IBGE, 1996), 5 bacias produtoras de óleo, 9 terminais marítimos de armazenamento, refinarias, portos, parques industriais e petroquímicos, e um intenso fluxo de cargas perigosas. Os eventuais acidentes e aos freqüentes despejos irregulares clandestinos de óleo no mar, somados às inúmeras atividades ilegais de extração de recursos naturais, causam significantes impactos ambientais marinhos, sujeitando seus ecossistemas e a base de seus recursos naturais à graves perturbações, trazendo prejuízos às atividades sócio-econômicas, e impedindo o desenvolvimento sustentável da região.

O SVM é um sistema de vigilância marítima que tem como objetivo coordenar e integrar as ações governamentais federais, estaduais e municipais, otimizando o emprego de meios e recursos, para o controle de suas águas territoriais, e das atividades pesqueiras, a patrulha de fronteiras, a defesa civil (salvaguarda da vida humana), detecção e avaliação da poluição marinha por óleo, etc.

Ele é um sistema aerotransportado multiusuário equipado, fundamentalmente, com um radar de visada lateral (SLAR) e outros sensores ("scanners" ultravioleta e infravermelho, radiômetro de microônda, câmeras fotográficas e sistemas de tratamento e visualização de dados e imagens); de gestão estratégica, e que, também, faz uso de satélites, barcos e outros instrumentos de apoio (estações meteorológicas fixas ou flutuantes, por exemplo) para a coleta, documentação e apresentação de informações relevantes para as diversas aplicações marítimas, como por exemplo, no apoio às atividades de pesquisa e desenvolvimento.

Vários países, como USA, Canadá, Reino Unido, França, Suécia, Holanda, Japão, China, Noruega, Índia e Austrália têm conseguido ótimos resultados com seus sistemas de vigilância marítima na redução dos acidentes e impactos ambientais envolvendo derramamentos de óleo no mar.

No Brasil, a falta de planejamento, fiscalização, infra-estrutura e recursos, são os principais fatores que contribuem com a atual situação de descontrole que se encontram nossas águas territoriais. Além do mais, do ponto de vista energético, o ciclo energético do petróleo e seus impactos associados são as principais fontes de preocupação e “stress” do litoral. Portanto, o SVM desponta como uma das alternativas mais recentes para a solução dos problemas dessas regiões, cujo risco de acontecer acidentes é muito alto (portos, terminais marítimos e bacias produtoras).

4.3. CONCEITO OPERACIONAL

As operações do SVM são caracterizadas pela aquisição sistemática de informações, seu processamento, armazenamento, geração, e distribuição de produtos para o apoio às ações de vigilância marítima feita pela Marinha brasileira.

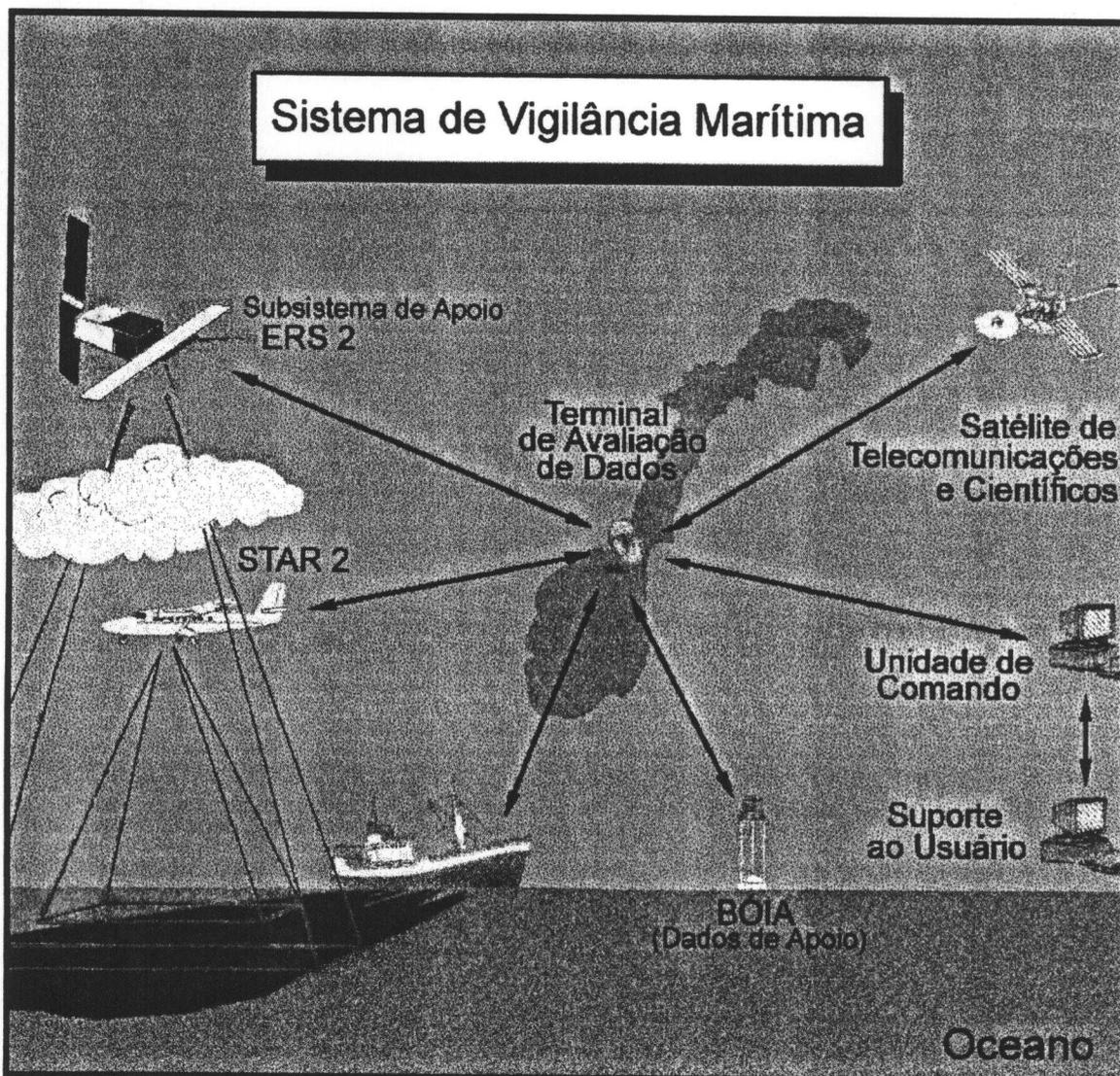
Especificamente nesse caso, sua principal função é atuar nos seguintes aspectos da poluição marinha causada por derramamentos de óleo:

- **Detecção e Rastreamento**: etapa na qual a substância, no caso o óleo, é detectada, quantificada e seus movimentos monitorados.

- Avaliação dos Danos: etapa na qual os recursos naturais são avaliados e comparados através de imageamento periódico.
- Abordamento, Prevenção e Elaboração de Controles Legislativos: é o tópico responsável pelo estabelecimento dos processos legais para incriminar os poluidores e aplicar as respectivas multas.
- Monitoramento da poluição: etapa na qual são arquivados todos os dados relativos aos derramamentos anteriores para servir de base decisória em novos derramamentos e pesquisas futuras.

A Figura 4.1 que se segue, ilustra uma operação de resposta pelo sistema de vigilância marítima a um derramamento de óleo, ilustrando a participação de cada um de seus subsistemas na aquisição de dados, processamento, armazenamento e distribuição de informações.

Figura 4.1: Sistema de Vigilância Marítima Proposto



Durante uma missão de vigilância a aeronave, ao sobrevoar uma determinada área, detecta um alvo - no caso - uma mancha de óleo. O operador do sistema, que é treinado para interpretar imagens dos sensores instalados na aeronave, mapeia a mancha e elabora um relatório. O relatório contém informações da área (localização), e dos alvos, como o posicionamento dos navios, espessura e volume da mancha. As

informações são processadas⁵ em tempo real nos equipamentos de bordo e, imediatamente, transmitidas para o Terminal de Avaliação de Dados.

O Terminal de Avaliação de Dados ao receber essas informações, as processam⁶ imediatamente, junto com outras informações de apoio enviadas de navios, bóias e satélites (direção e velocidade do vento, correntes, previsões meteorológicas, etc.).

Depois, todos esses dados são introduzidas no simulador⁷ de movimentação de manchas de óleo no mar, para que as prováveis trajetórias - passadas e futuras - das manchas de óleo sejam calculadas. O resultado final é um mapa apresentado na tela do computador, ou impresso em papel, sobreposto a cartas temáticas da região (informações náuticas, distribuição da sensibilidade costeira, principais atividades humanas, etc.), que são enviados às bases de comando em terra e no mar.

⁵ O processamento de sinais passa por uma série de etapas que visam corrigir distorções geométricas causadas pelos efeitos geométricos no sensor e na plataforma, são eles: rolamento, atitude de inclinação, guinada, desvio lateral e vertical, e variação da velocidade da plataforma (Novo et al., 1994).

⁶ Para que esses dados (imagens digitais e dados alfa-numéricos), provenientes das mais diversas fontes, e em diferentes formatos (escala, resoluções) possam ser visualizados e registrados, eles devem ser correlacionados espacialmente (georreferenciar) em Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Os SIGs são, também, utilizados para criação de novas informações, muito úteis na melhoria da eficiência das atividades de monitoramento e gerenciamento das diversas atividades humanas.

⁷ Os simuladores de movimentação de manchas de óleo são modelos matemáticos que permitem fazer cálculos determinísticos, isto é, calcula a probabilidade de uma mancha de óleo atingir uma determinada área da costa em função de dados históricos (acidentes anteriores, regime médio de ventos e correntes), e prevê a trajetória da mancha em tempo real, com informações obtidas de bases meteorológicas, bóias equipadas com correntógrafos, barcos de apoio, etc.; e cálculos estocásticos - calcula a provável origem da mancha. Os parâmetros determinísticos geralmente utilizados nos simuladores são: hora do acidente, tipo de óleo derramado, razão de introdução do óleo no mar, temperatura do ar e da água, velocidade e direção do vento, coeficiente de dispersão do óleo, e coeficiente de formação de pixe. E, nos estocásticos: razão de espalhamento do óleo, espessura mínima do óleo, e coeficiente de formação de mousse.

Os responsáveis recebem continuamente dados atuais do exato posicionamento da aeronave e de suas novas observações. Dados esses, baseados em sistemas de posicionamento global (GPS) do avião. Com essas informações, os responsáveis estarão em ótima situação para tomarem as decisões corretas em um curto espaço de tempo. Esse procedimento permanece até que todo óleo seja removido do mar.

Finalizando, esse grande volume de informações é gravado para que seja usado nos inquéritos judiciais, como provas materiais, e no planejamento de novas estratégias de contingência.

Opcionalmente, os sistemas podem contar também com facilidades de processamento espacial de imagens “on board”, permitindo aos responsáveis participarem diretamente das campanhas de monitoramento de manchas de óleo a bordo da aeronave, enviando suas ordens de comando, diretamente ao barcos líderes de limpeza, ou aos pontos de comando em terra.

As responsabilidades pela operação executiva do sistema será dos órgãos do governo federal, mais especificamente, da Marinha. A operação será integrada aos órgãos usuários estaduais e municipais, como Secretarias de Meio Ambiente, Defesa Civil, Prefeituras Municipais, Universidades, a Petrobrás, o INPE, etc. Cabe ressaltar o caráter sistemático da vigilância marítima, a lógica operacional para análises e investigações específicas e o suporte ao planejamento, a coordenação e controle de ações, gerando informações que viabilizam a tomada de decisão sob a responsabilidade do órgão usuário, conforme sua atribuição institucional.

4.3.1. Subsistemas

O SVM é composto por três subsistemas. O subsistema de coleta de informações de apoio, composto pelos sistemas orbitais (satélites), estações meteorológicas fixas, balões, barcos, bóias, etc. O subsistema de Aquisição de Dados Aerotransportados, e o subsistema de Suporte ao Usuário.

4.3.1.1. Subsistema de Apoio

Suas principais atribuições são fornecer informações e imagens, com tecnologia disponível no país para serem usadas de informações de apoio ao Subsistema de Aquisição de Dados. Ou sendo capazes de detectar eventuais manchas de óleo que apareçam no mar sobre a superfície; ou fornecendo informações meteorológicas, oceanográficas e ambientais de uma determinada região; ou auxiliando na elaboração de mapas temáticos da costa para serem usados em simuladores de movimentação de manchas de óleo.

O Brasil já conta com 25 anos de trabalho na área de Sensoriamento Remoto, através de institutos como o INPE e a EMBRAPA. O INPE recebe, desde 1972, imagens do satélite LANDSAT, e atualmente fornece dados, também, dos satélites NOAA, SPOT e ERS-2, além de possuir também um sensor RAR aerotransportado.

4.3.1.1.1. Sistemas Orbitais

O Consenso no meio científico sobre as vantagens da utilização de sensores orbitais no estudo do mar, é geral. Possibilidades de vistoriar grandes áreas, monitorar alterações ambientais com observações regulares e obter dados de regiões inacessíveis são as maiores vantagens geralmente citadas. As desvantagens, porém, incluem suas limitações de operação sob condições climáticas adversas, resolução espacial e temporal, preço das imagens, e a dificuldade de sinergismo entre dados amostrais e dados de sensoriamento remoto.

Na teoria, o melhor sistema orbital para detecção e monitoramento de manchas de óleo, a nível global, seria aquele que providenciasse imagens de áreas extremamente grandes - de preferência do oceano inteiro - em intervalos periódicos, de no máximo, 30 minutos (resolução temporal); e com resolução espacial bem alta. Além disso, o óleo, por sofrer alterações no mar (processos intempéricos), passa a se mostrar em uma variedade de bandas espectrais. Por isso, há também a necessidade da incorporação de sensores que operem em várias bandas de alta resolução espectral e radiométrica. Mas, para evitar a presença de nuvens, chuva, neblina e ausência de luminosidade à noite, é imprescindível a presença de um sensor microondas (SAR - Synthetic Aperture Radar) que, além de poder operar sob tais condições adversas, também possui uma resolução espacial alta, independentemente da altitude da plataforma orbital.

Um sensor assim não existe por uma série de limitações tecnológicas e logísticas. Não é tecnologicamente possível, por exemplo, obtermos simultaneamente imagens do

oceano inteiro com alta resolução espacial. E, mesmo que o fosse, o arquivo de dados final (imagem) seria tão grande que os computadores atuais não seriam capazes de armazená-los. Mas, as limitações logísticas, em termos das quatro resoluções mencionadas acima (temporal, espacial, espectral e radiométrica) sofrem constantes alterações, e conforme novos sensores são lançados, as potencialidades do sensoriamento remoto como instrumento de pesquisa se aprimoram (Clark, 1993).

O Subsistema fará uso de informações obtidas das imagens dos satélites Landsat, SPOT, ERS-2 e NOAA, que serão disponibilizadas através das bases de dados do Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE, e armazenadas em discos óticos (cd-rom) nos Departamentos de Portos e Costas (DPC) regionais da Marinha do Brasil.

1. LANDSAT - TM e MSS (“Thematic Mapper” e “Multispectral Scanner”)

Apesar de ter sido designado para estudos terrestres, a sua alta resolução espacial tem atraído o interesse de muitos cientistas na sua utilização em problemas marinhos e costeiros.

Segundo Sabins (1986), nas regiões do IV refletido e do visível, a assinatura das manchas de óleo é determinada pelo contraste entre a radiância espectral do óleo e da água ao seu redor: a tensão superficial do filme de óleo na água do mar diminui a energia das ondas superficiais de pequena escala, fazendo com que a água fique mais calma (manchas). Essas manchas possuem assinaturas tipicamente negras, em contraste com assinaturas claras, causadas pela radiação da luz solar no mar limpo e mais rugoso.

Clark (1993), diz que apesar dos comprimentos de onda na faixa do visível não serem muito úteis para o monitoramento de manchas de óleo, pois suas propriedades ópticas são bem complexas e dependem de vários fatores, como o azimute solar; e a espessura, tipo, idade e estado termodinâmico do óleo; vários cientistas demonstraram a utilidade do sensor Landsat - MSS, ao produzir um inventário dos derramamentos de óleo no mar Mediterrâneo examinando mais de 800 imagens. Segundo Sabins, Jr (1986), Deutsch et al. (1980) concluíram que as bandas 5 e 6 são superiores à composição RBV (Return-Beam Vidicon) para reconhecer manchas de óleo. Wald et al. (1984) apud Clark (1993) estudaram o Mediterrâneo de 72 a 75 utilizando-se de uma única banda (7) e conseguiram identificar manchas de óleo. Mas observaram, também, que há dificuldades em distinguir manchas antropogênicas de filmes orgânicos naturais. Seus resultados demonstram que a poluição causada por operações clandestinas têm sido mais significativas que as causadas por grandes acidentes, e permitiram produzir um mapa sinóptico da frequência dos derramamentos, registrando as áreas de altos riscos de poluição.

Embora, a utilização de Satélites óticos tenha se mostrado, de alguma forma, útil na ajuda ao combate de derramamentos de óleo no Mediterrâneo, em regiões tropicais, fatores meteorológicos, como a alta frequência de cobertura de nuvens, ou fatores técnicos, como a periodicidade de 16 dias do Landsat, limitam ainda mais - a já reduzida - capacidade de utilização desse tipo de sensor no acompanhamento de derramamentos de óleo.

Assim como o sensor CZCS (Coastal Zone Color Scanner), os satélites Landsat TM e MSS serão utilizados principalmente na elaboração e atualização de mapas temáticos das regiões potencialmente volúveis a derramamentos de óleo - mapas planimétricos, distribuição da sensibilidade costeira e ocupação e uso do solo, localização de arrecifes de corais e batimetria de áreas rasas litorâneas, distribuição da concentração sazonal de clorofila e materiais particulados suspensos, etc.

2. SPOT - (HVR - High Resolution Visible, Multispectral Mode)

Imagens SPOT serão usadas em sinergia com imagens Landsat na elaboração de mapas topográficos; e na identificação e monitoramento de ecossistemas marinhos importantes, como praias, estuários, mangues, brejos e outros tipos de vegetação costeira.

3. Satélite NOAA - (AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer)

Segundo Sabins, Jr (1986), as manchas de óleo apresentam *temperaturas radiantes*⁸ mais baixas que a água (pura), porém, possuem a mesma *temperatura*

⁸ Calor cinético é a energia cinética das partículas de um material em movimentos aleatórios. Esses movimentos aleatórios fazem com que as partículas se colidam, fazendo com que haja uma mudança do estado de energia e a emissão de radiação eletromagnética pela superfície desse material. A concentração do calor cinético de um material é chamada de Temperatura Cinética (T_{cin}) e é medida colocando-se um termômetro em contato com a superfície do material. A energia eletromagnética irradiada por uma fonte é chamado de Fluxo Radiante (F) e é medido em Watts por centímetro quadrado ($W \cdot cm^{-2}$). A concentração do fluxo radiante de um corpo é a Temperatura Radiante (T_{rad}) (Sabins, Jr, 1986).

cinética (dois líquidos em contato direto). A *emissividade* (ϵ)⁹ da água pura é de 0,993, mas quando em contato com o óleo, diminui para 0,972. Calcula-se a temperatura radiante dos materiais através da equação:

$$T_{\text{rad}} = \epsilon^{1/4} T_{\text{cin.}}$$

Se considerarmos que a água e o óleo se encontram, por exemplo, a uma temperatura cinética de 291° K (18°C), suas temperaturas radiantes são de 290,5°K (17,5°C) e 288,9°K (15,9°C), respectivamente.

Essa diferença de 1,6°C na temperatura radiante entre o óleo e a água pode ser facilmente detectada por sensores de IV térmico, uma vez que esses equipamentos são sensíveis a diferenças de temperatura radiante da ordem de 0,1°C. Entretanto, há algumas desvantagens, como a presença de chuva e neblina que atrapalham a aquisição das imagens, e o perigo de se confundir correntes de água mais fria com manchas de óleo. Esses problemas, porém, podem ser minimizados, utilizando-se simultaneamente imagens UV e IV térmico.

Segundo Clark (1986), o sensoriamento remoto por IV foi posto em uso efetivo por Legg (1991) e Cross (1992) em investigações de manchas de óleo durante, a chamada, Guerra do Golfo de 1990/91. Grandes quantidades de óleo foram derramadas na costa do Kuwait, formando as maiores manchas de óleo de toda a história.

⁹ Emissividade é a razão da radiância de um objeto com a emitida por um “corpo negro” à mesma temperatura e mesmo comprimento de onda (Sabins, Jr; 1986).

Nesse caso, devido à necessidade de se monitorar as manchas em tempo real, os satélites se mostraram bastante eficazes, já que os outros métodos de monitoramento eram problemáticos, pois a área em questão se encontrava bem no meio da zona de guerra. Para esse tipo de investigação, a resolução temporal era de fundamental importância e, portanto, o único sensor apropriado para essa missão era o AVHRR a bordo do satélite meteorológico de *órbita polar* NOAA, que providenciava dados de 5 bandas espectrais do visível e do IV (incluindo o IV térmico), resolução espacial de 1,1 km, e resolução temporal de 12 horas. Segundo Clark (1993), as investigações eram baseadas no posicionamento antecipado de, pelo menos, uma parte da mancha.

Das conclusões que tiveram, podemos destacar, que nesse caso, as manchas só podiam ser visíveis na banda do IV térmico durante o dia, só a parte mais espessa do óleo podia ser detectada, e a parte maior e mais fina, em contrapartida, não podia ser observada. Foram feitas cerca de 20 investigações. Sendo que a metade não pôde ser utilizada por causa da presença de nuvens. As imagens foram depois comparadas, as posições, extensão e a deriva da mancha avaliadas e um mapa da trajetória foi produzido. Mesmo assim, para Clark (1993), esse método atualmente é inviável para detectar manchas de óleo desconhecidas.

Apesar da incapacidade de utilização do Satélite NOAA para o monitoramento de manchas de óleo, ele será de grande utilidade no fornecimento de previsões meteorológicas e alguns dados oceanográficos.

4. O ERS-1

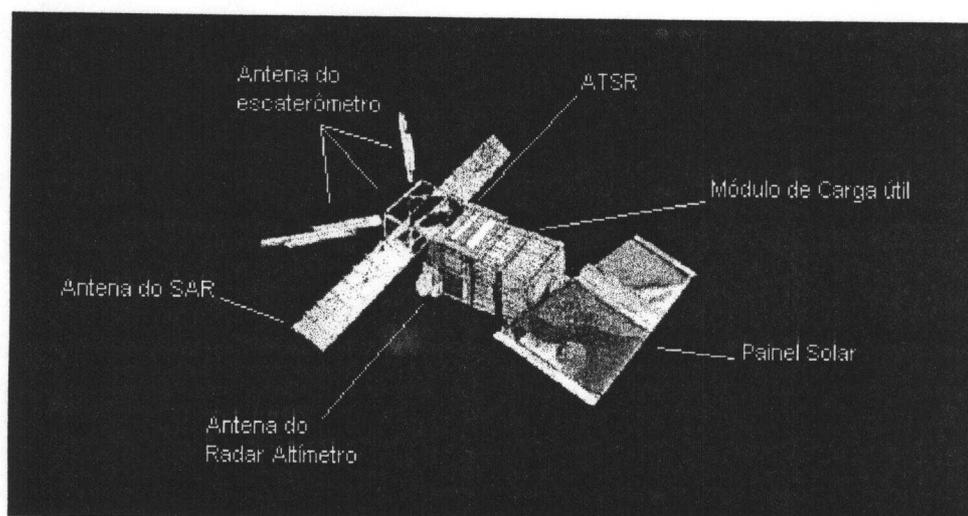
Iniciado em 1981 com a participação dos Estados Membros da Agência Espacial Européia (ESA), da Noruega e do Canadá, o Programa do Primeiro Satélite Europeu de Sensoriamento Remoto (ERS-1) tinha como missão o monitoramento do gelo e dos oceanos para estudos de natureza científica e econômica, cujos principais objetivos eram:

- aumentar o conhecimento científico das zonas costeiras e os processos oceânicos globais, os quais, junto com o monitoramento das regiões polares, forneceriam contribuições importantes ao Programa de Pesquisa do Clima Mundial (World Climate Research Programme), principalmente em estudos de oceanografia física, glaciologia e climatologia. (Allan, 1987)
- desenvolver e promover aplicações econômicas e comerciais dos produtos derivados do sensoriamento remoto da costa, dos oceanos e do gelo, beneficiando não só as atividades industriais, petrolíferas, de transporte e pesqueiras, mas também permitindo estudos detalhados na zona economicamente exclusiva de 200 milhas náuticas.

O ERS-1 foi lançado do Centro Espacial de Korou, Guiana Francesa, a 17 de julho de 1991, com vida útil prevista de três anos, pelo foguete Ariane, numa órbita sol-sincronizada, ou quase-polar, inclinada em relação ao equador em 98.1° e à altitude de aproximadamente 777Km. Foi considerado o primeiro de uma nova geração de satélites ambientais programados para os anos 90, principalmente, por abrigar instrumentos de microondas ativos, que geram sua própria radiação e permitem a cobertura global com

observações periódicas da superfície da Terra independentemente das condições meteorológicas e de iluminação.

Figura 4.2: O Satélite ERS-1



Fonte: Swedish Space Corporation (1996).

O satélite ERS-1 é composto basicamente pela *plataforma* e pelo *módulo de carga útil*. A plataforma multimissão (PFM) foi adaptada para o ERS-1 do programa francês SPOT e tem como função abrigar o sistema de posicionamento do satélite e os equipamentos que controlam suas funções de operação, como o controle de atitude e órbita, o suprimento de energia, a monitorização e controle da carga útil, das telecomunicações (telecomando e telemetria) e da plataforma. Uma das modificações mais significativas feitas na PFM foi, por exemplo, o aumento da área do painel solar em 66% com células fotovoltaicas 12% mais eficientes, aumentando assim, o suprimento necessário ao alto consumo de energia dos sensores microondas ativos.

A estabilização e controle de atitude da plataforma ficam por conta de um conjunto de propulsores, que são utilizados em diferentes combinações mantendo ou modificando a órbita do satélite. A capacidade de poder modificar sua altitude de vôo em alguns quilômetros permite ao ERS-1 três padrões de cobertura de uma mesma área com periodicidades diferentes de 3, 35 e 176 dias.

O controle dos equipamentos científicos da carga útil é feito pelas Unidades de Controle de Instrumentos (ICU). Cada instrumento da carga útil possui sua própria ICU, que são processadores programáveis em vôo que operam e configuram os instrumentos e estão ligados diretamente ao Gerenciador de Dados de Bordo (OBDH), e este ao Computador de Bordo (ODB), que é responsável pelo processamento e gerenciamento das funções básicas de operação da missão.

O Módulo de Carga útil é composto pelo Módulo de Eletrônica de Carga Útil (PEM) e pela Estrutura de Suporte de Antena (ASS) que juntos somam 5 instrumentos científicos:

1. Radar Altimetro (RA - Radar Altimeter). É um radar de pulso com visada nadir, operando na banda Ku (~1cm), cujo objetivo é o de medir a altura das ondas e grandes correntes oceânicas através dos ecos provenientes das superfícies dos oceanos e de gelo.

2. Retro-Refletor Laser (LRR - Laser Retro- Reflector). É um instrumento passivo utilizado como alvo por estações laser baseadas em terra. O tempo de percurso dos

pulsos laser refletidos pelo LRR permite o controle da órbita/posição do satélite e a calibração do Radar Altimetro.

3. Equipamento para Medição Precisa de Distância e Variação de Distância (PRARE - A - Precise Range and Range Rate Experiment). É um sistema de posicionamento do satélite que mede a distância e suas variações com alta precisão, dando assim, suporte ao Radar Altimetro. O PRARE é o único instrumento científico que não fica no Módulo de Carga Útil e, portanto, não possui IUC. O PRARE fica acoplado na plataforma, e é controlado pelo Computador de Bordo.

4. Radiômetro de Varredura em Azimute e Sonda de Microondas (ATSR - Along Track Scanning Radiometer). O ATSR é composto por dois sensores:

a) Radiômetro Infravermelho (IRR-Infra-Red Radiometer): sua função é a de medir em escala global a temperatura da superfície do mar. Sua precisão relativa pode chegar a 0.1K em pixels de 1km x 1km, se as condições meteorológicas e de cobertura de nuvens forem favoráveis; e

b) Radiômetro de Microondas (MWR). O MWR é um radiômetro de microondas que opera em duas frequências: 23.8 e 36.5 Ghz, com uma largura de faixa de 400MHz.. Tem como principal função a medição do conteúdo de vapor d'água atmosférico para suporte ao Radar Altimetro.

5. Instrumento de Microondas Ativo (AMI-Active Microwave Instrumentation).

Dois radares distintos estão incorporados ao AMI, que por questões de necessidade de redução de massa, volume e custos, combinam várias funções num único 'hardware'.

a) Escaterômetro (Scatterometer). O Escaterômetro opera na banda C e mede a direção e velocidade do vento, através da medição do retroespalhamento do pulso radar na superfície do mar.

b) Radar de Abertura Sintética(SAR - Synthetic Aperture Radar). O SAR é um sensor de microondas ativo que opera na banda C com polarização VV e 23° de incidência. Pode operar no modo *imagem* e *onda*. Quando está operando no modo *imagem* ele permite o imageamento de alta resolução espacial numa faixa de 100km de largura, à direita da rota do satélite, sob quaisquer condições de tempo e luminosidade. Quando está operando no modo *onda*, em conjunto com o escaterômetro, ele permite o imageamento do espectro de ondas da superfície do mar. A tabela 4.2 nos mostra os principais parâmetros geofísicos medidos e as respectivas performances dos instrumentos do ERS-1.

Os dados adquiridos pelos instrumentos da Carga Útil são coletados e formatados no Subsistema de Transmissão e Manipulação de Dados (Data Handling and Transmission Subsystem - IDHTS), antes de serem transmitidos pela Banda-X às estações de recepção no solo. Ele é equipado com dois gravadores, para garantir a aquisição de dados em regiões onde o satélite não é visível às estações de recepção de sinais em terra, e é capaz de armazenar até 6.5 Gbytes de dados, garantindo assim, a possibilidade de operar em qualquer região da Terra.

Tabela 4.2: Performance das Medidas do ERS-1

Principais Parâmetros Geofísicos	Faixa	Resolução Horizontal	Precisão	Principais Instrumentos
<i>Vento</i> velocidade	4 a 24 m.s ⁻¹	50 x 50 Km ² (global)	+/- 2 m.s ⁻¹ ou +/- 10 %	Escaterômetro de vento
direção	0 a 360°	20 x 20 Km ² (costa)	+/- 20°	Altímetro
<i>Espectro de Onda</i> altura das ondas	1 - 20 m	10 x 10 Km ²	+/- 0.5m ou 10%	SAR modo onda
direção das ondas	0 - 306°	10 x 10Km ²	+/- 15°	+
comprimento das ondas	100 - 1000 m	10 x 10Km ²	+/- 20 %	Escaterômetro
<i>Temperatura da Superfície do Mar</i>	-2 a 35°C	100 x 100Km ² / 800 x 800 m ²	+/-1.5 a +/-0.5K	ATSR (IRR)
<i>Gelo</i> cobertura	0 a 100 %	10 x 10 Km ²	+/- 15%	ATSR(IRR) +
espessura	0.25 a 50 m	10 x 10 Km ²	+/- 2 m	Altímetro
<i>Atmosfera</i> vapor d'água	0 a 6 g.cm ⁻²	30 x 30 Km ²	+/- 0.2 g.cm ⁻²	ATSR(MWR)
razão de chuvas	1 a 10 mm.h ⁻¹	30 x 30 Km ²	+/- 0.2 mm.h ⁻¹	ATSR(MWR)
<i>Correntes</i> direção	> 15 cm.s ⁻¹		+/- 15 cm.s ⁻¹	Altímetro
velocidade				Altímetro
<i>Imagens</i> de alta definição		Res. Espacial 100 x 100m ² 30 x 30m ² 15 x 15m ²	Res. Radiométrica 1 dB 2.5 dB não especificada	SAR modo imagem
<i>Satélite</i> altitude	745 a 825 Km		5 a 10 cm	PRARE

Fonte: Cracknell, A. P. (1983).

Existem praticamente duas taxas de aquisição de dados, a alta e a baixa. A alta corresponde à aquisição de dados pelo AMI (modo imagem) a 100mbps¹⁰. Devido à alta taxa de aquisição de dados, não há possibilidade de gravação, limitando-se, assim, a

¹⁰ Mega Bytes per Second.

operar em apenas 10% de sua órbita, e às regiões onde existam estações disponíveis para a transmissão dos dados em tempo real. Todos os outros instrumentos, como o Altimetro e o AMI (modo onda) que coletam dados a uma taxa de aproximadamente 1kbps¹¹ e 300kbps, respectivamente, são considerados como de baixa taxa de aquisição e podem operar entre 40% e 100% da órbita do satélite, dependendo da quantidade e combinação dos instrumentos ligados.

Segundo Clark (1993), o melhor exemplo da utilização do sensoriamento remoto orbital aplicado ao monitoramento de manchas de óleo foi o reportado por Stringer et al. (1992), durante as operações de limpeza do navio Exxon Valdez, em 1989, no Alasca. Nessa campanha foram coletadas imagens Landsat TM, AVHRR, SPOT e SLAR (aerotransportadas). Das imagens disponíveis, só as AVHRR e SLAR tiveram utilidade como instrumento de monitoramento em tempo real.

As imagens de ambos os sensores permitiram localizar as manchas, interpretar as feições do óleo, e determinar a direção das correntes marinhas. Junto com outros dados de apoio, como a temperatura da superfície do mar e das plumas de sedimentos suspensos, essas informações mantinham os responsáveis pelo planejamento das operações de limpeza bem informados sobre o posicionamento das manchas. Sedimentos suspensos ou turgidez que apareciam nas imagens eram extremamente úteis, considerando que ao se formarem, as bolas de piche afundam e levantam os sedimentos do assoalho oceânico.

¹¹ Kilo Bytes per Second.

Um dos primeiros projetos que contou com a participação do ERS-1 para detectar óleo no mar começou em 1991 como parte do programa nacional do Centro Espacial Norueguês. Ele tinha como finalidade servir aos usuários finais informações úteis sobre as manchas de óleo uma hora depois de sua passagem pelo local do acidente. Utilizando imagens SAR de baixa resolução (100m), o ERS-1 demonstrou suas potencialidades em detectar filmes de óleo de qualquer espessura, com ventos fracos de 3 ou 4 m/s, e emulsificações do óleo com velocidades do vento de 10 m/s. O ERS-1 ainda foi capaz de detectar outros tipos poluentes marinhos, como os rejeitos provenientes de plantas de processamento de peixes, e o rastro de gordura deixado pelas traineiras e baleeiras (Tronso Satellite Station, 1996). Atualmente, o ERS-1, foi substituído pelo ERS-2, que é idêntico ao seu antecessor.

No Brasil, teoricamente, seria possível a utilização de imagens SAR orbitais em algumas regiões vulneráveis a derramamentos de óleo do litoral, como, por exemplo, na baía de Campos, pelo ERS-2. Mas, em função da sua frequência orbital (35 dias), da incapacidade de detecção de óleo sob ventos muito fracos, e em distinguir filmes de origem natural dos de origem antropogênica, ele ainda não é operacionalmente viável. Entretanto, as facilidades de recepção de sinais do ERS-2 pelos laboratórios do INPE em Cuiabá e em Cachoeira Paulista, os resultados encorajadores das investigações feitas acima, e a capacidade de rápida transmissão das imagens SAR, fazem desse método, o mais promissor em estudos de poluição causada por óleo no futuro.

Atualmente, informações obtidas pelo ERS-2 podem ser muito úteis na cooperação de estudos acadêmicos, no treinamento de mão-de-obra especializada, e na extração de informações de apoio (ver tabela 4.2).

4.3.1.2. Sistema de Aquisição de Dados

Barrett e Curtis (1992) segundo Clark (1986), dizem que em uma análise de custos feita recentemente com os maiores derramamentos de óleo registrados pela “International Tanker Owners Pollution Federation” demonstrou que os custos das operações de limpeza após um acidente com um navio tanque variam de 5.000 a 30.000 dólares por tonelada de óleo derramado. Se levarmos em consideração os danos ambientais, logicamente, essas cifras se estenderão a dezenas de milhões de dólares. Foi estimado, ainda, que a utilização de equipamentos multi-sensores em operações de limpeza reduziriam os custos de limpeza entre 15 e 20%, e minimizariam significativamente os danos ao ambiente marinho.

Desde então, vários instrumentos foram desenvolvidos para detectar, mapear e quantificar o óleo na água, como o AVIRIS (Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer), americano; o FLI, também chamado de Imageador Programável Multispectral (Programmable Multispectral Imager - PMI), canadense; ou o SUPER CYCLOPE SSC 310, francês. Mas nenhum deles foi, sozinho, capaz de providenciar todas as informações necessárias durante uma resposta a um derramamento de óleo.

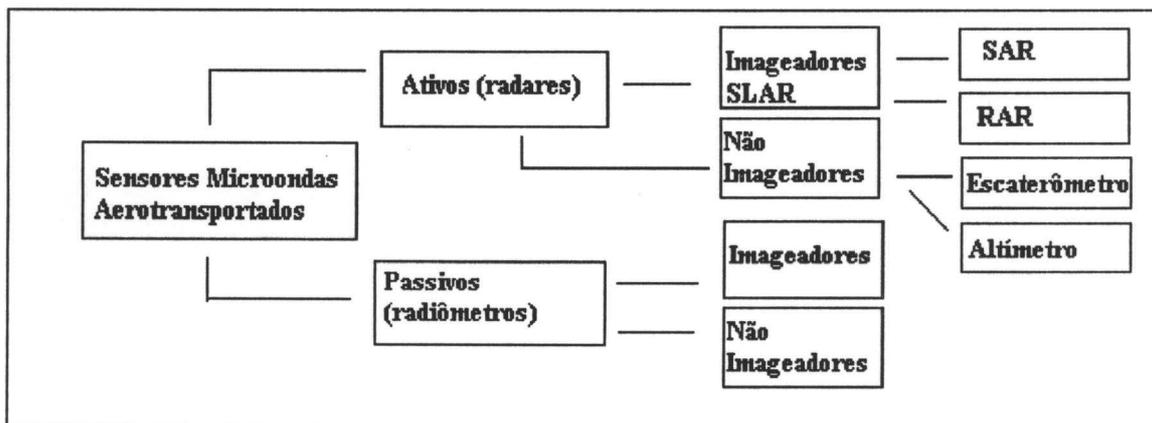
Por isso, os sistemas de vigilância marítimas da guarda costeira americana, sueca, inglesa, holandesa, e de outros países são equipados com radares (SAR ou RAR), e outros sensores de apoio - dependendo das respectivas necessidades - como os "scanners" Infravermelhos e Ultravioleta, Radiômetro de Microondas, sistemas de câmeras fotográficas, o MSS (Multi-Spectral Scanner) e o FLIR (Foward Looking Infra-Red).

(A) Instrumentos Radar - Fundamentação Teórica

Radar é um sistema de sensoriamento remoto ativo, isto é, possui sua própria fonte de energia. O princípio básico de um sistema radar é relativamente simples: o sistema emite um sinal (ondas de rádio e microondas) que "ilumina" o terreno, detecta a energia (sinal) que retorna da superfície e os grava como uma imagem. Geralmente, utiliza-se a mesma antena para transmissão e recepção dos sinais (antena monostática).

Os sensores de microondas aerotransportados são classificados, em função de seus princípios de funcionamento, em dois grandes grupos: os sensores passivos e ativos (Fig. 4.3). Além dos radares imageadores, existem mais duas categorias de radares: os escaterômetros e os altímetros. Neste trabalho, estudaremos apenas os imageadores ativos, pois são os únicos sensores, atualmente, capazes de vistoriar grandes áreas e detectar manchas de óleo no mar independentemente das condições meteorológicas e de luminosidade.

Figura 4.3: Classificação dos Sensores Microondas



1. Equação Radar.

Equação Radar é o nome dado à relação fundamental entre as características do radar, do alvo e do sinal recebido pelo sensor. Mesmo havendo uma forma fundamental, essa equação pode ser apresentada de várias formas, dependendo do radar utilizado (RAR ou SAR) e, ainda, do parâmetro tomado como referência (Ulaby et al, 1982).

Segundo Skolnik (1980) apud Damião (1994), se considerarmos a potência transmitida pelo radar como sendo P_t , e se utilizarmos uma antena “não isotrópica” para canalizar o máximo da potência transmitida para alguma direção em particular, a potência por unidade de área a uma distância R do radar é igual a potência transmitida dividida pela área da superfície $4\pi R^2$ de uma esfera imaginária de raio R . Neste caso, o ganho G_t de uma antena é a potência economizada que seria irradiada por uma antena isotrópica, em todas direções. O ganho pode ser definido como a razão entre a máxima intensidade irradiada da antena em questão e a intensidade irradiada por uma antena isotrópica sem perdas, mas com a mesma potência de entrada. Assim, a densidade de

potência no alvo (D_{ni}) a partir de uma antena “não isotrópica” direcional com ganho G_t é:

$$D_{ni} = P_t \cdot G_t / 4\pi R^2.$$

O alvo intercepta uma porção da potência irradiada, e a reirradia na direção do radar. Temos, assim, o parâmetro σ , que é a seção transversal do alvo, e é dimensionado em termos de área (m^2). Esse parâmetro é uma característica intrínseca ao alvo e o representa como é visto pelo radar. Dessa forma, para uma dada área, que é definida por σ , temos agora a potência P reirradiada na direção do radar, definida assim:

$$P = P_t \cdot G_t \cdot \sigma / 4\pi R^2 \quad , \text{ mas,}$$

como o sinal vai e volta, a densidade de potência do eco no radar fica sendo:

$$D_e = P_t \cdot G_t \cdot \sigma / (4\pi R^2)^2.$$

Mas, o radar detecta apenas uma parte dessa potência. Se a área efetiva de coleta da antena de recepção é A_r , então a potência que chega ao radar é:

$$P_r = P_t \cdot G_t \cdot A_r \cdot \sigma / (4\pi R^2)^2.$$

Temos assim, a forma fundamental da equação radar.

2. Radar Aerotransportado de Visada Lateral (SLAR)

Para Ulaby et al (1981) segundo Damião (1994), a definição de SLAR engloba dois tipos de radares imageadores: (a) o Sistema de Força Bruta ou Radar de Abertura Real (RAR), muitas vezes, também, definido como SLAR e (b) o Radar de Abertura Sintética (SAR)).

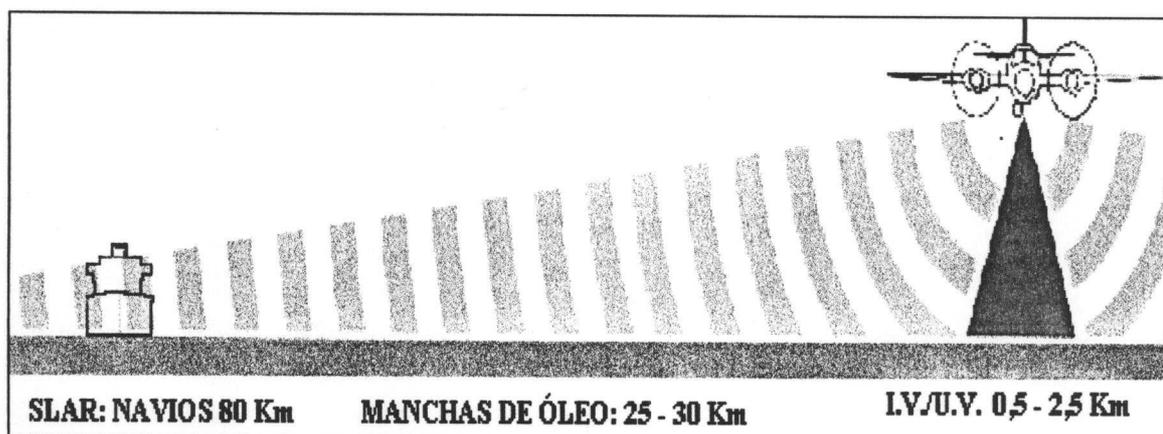
2.(a) Radar de Abertura Real (RAR).

Nos Radares de Abertura Real, a antena é presa na fuselagem do avião de modo a direcionar seus pulsos perpendicularmente à linha de vôo, produzindo um feixe largo verticalmente e estreito horizontalmente. A imagem é então, formada pelo movimento da aeronave longitudinalmente à área imageada: enquanto a aeronave se move, a antena emite pulsos curtos que são transmitidos, da distância oblíqua mais próxima até a mais distante, numa seqüência de transmissões e recepções de pulsos. Assim que o pulso choca-se com um determinado alvo, o sinal retorna ao radar. O tempo de retorno (“delay”) associado a este sinal de retorno (assim como os dos outros pulsos transmitidos), fornece a distância entre o alvo e o radar. Dessa forma, uma linha isolada de intensidade modulada (conforme a potência do sinal de retorno) é mostrada no osciloscópio e depois transferida para um filme que tem a forma de uma tira que se move simultaneamente à aeronave. No momento em que a aeronave tiver se movido um feixe à frente, o sinal de retorno virá de uma faixa diferente no solo. Estes sinais modulam a intensidade da linha no Tubo de Raios Catódicos e produzem uma imagem (tons de cinza) diferente, numa linha do filme adjacente à linha original. À medida que a aeronave se move, uma seqüência dessas linhas é imageada no filme e o resultado é uma imagem bi-dimensional da superfície.

A velocidade do filme é ajustada de forma que a escala da imagem nas direções perpendicular e ao longo da rota sejam mantidas tão próximas uma da outra quanto possível. Como a dimensão ao longo da rota é determinada por uma medição de tempo e

esta medição é associada com a linha de visada, o registro é ligeiramente distorcido, por causa da diferença entre a distância oblíqua e a distância no solo. Essa distorção, entretanto pode ser corrigida através de uma correção apropriada (Ulaby et al., 1981).

Figura 4.4: Imageamento SLAR de óleo no Mar



Fonte: Swedish Space Corporation, (1996).

2.(b) Resolução Espacial do RAR

Resolução Espacial é uma indicação da capacidade de uma imagem digital em mostrar alvos muito próximos e com intensidades similares, mas que se apresentam como unidades distintas. A resolução espacial é afetada inicialmente pela concepção do sensor e pelas condições nas quais é usado, e, ainda, pelo processamento posterior à obtenção dos dados e de sua apresentação. Segundo Elachi (1987), pelo fato dos radares de abertura real processarem seus dados em função do tempo percorrido entre o sinal de ida e de volta de seu respectivo eco, os sensores SLAR adotaram uma configuração de visada lateral para evitar que houvesse ambigüidade entre os sinais provenientes de posições simetricamente equidistantes (mesmos intervalos de tempo).

Segundo Damião(1994), nesse tipo de geometria são definidas duas dimensões básicas e dois ângulos fundamentais: distância oblíqua (“slant-range”), distância no solo (“ground range”), ângulo de depressão (φ) e ângulo de incidência (θ).

A distância oblíqua (DO) é calculada a partir da diferença de tempo entre a emissão e a recepção do sinal radar (Δt), considerando a velocidade da luz (c), como segue:

$$DO = c \cdot \Delta t / 2.$$

Um RAR proporciona três tipos de resolução: resolução na distância oblíqua (“slant range resolution”), resolução transversal (“cross-track ou range resolution”) e resolução em azimute (along-track resolution”). Essas resoluções, por sua vez, dependem de dois parâmetros principais: a largura horizontal do feixe (β_h) e duração do pulso (τ). A Fig. 4.5 ilustra, detalhadamente, essas resoluções e parâmetros.

A resolução da distância oblíqua é então, dada por:

$$R_{DO} = (c \tau) / 2 .$$

A resolução transversal (R_t) é a projeção da resolução da distância oblíqua no solo e é calculada por:

$$R_t = (c \cdot \tau) / 2 \text{ sen}\theta .$$

Note que, quanto mais curto for a duração do pulso, melhor será a resolução transversal. Porém, quanto mais curto for o pulso, maior será a potência de pico exigida pelo sistema (Damião, 1994).

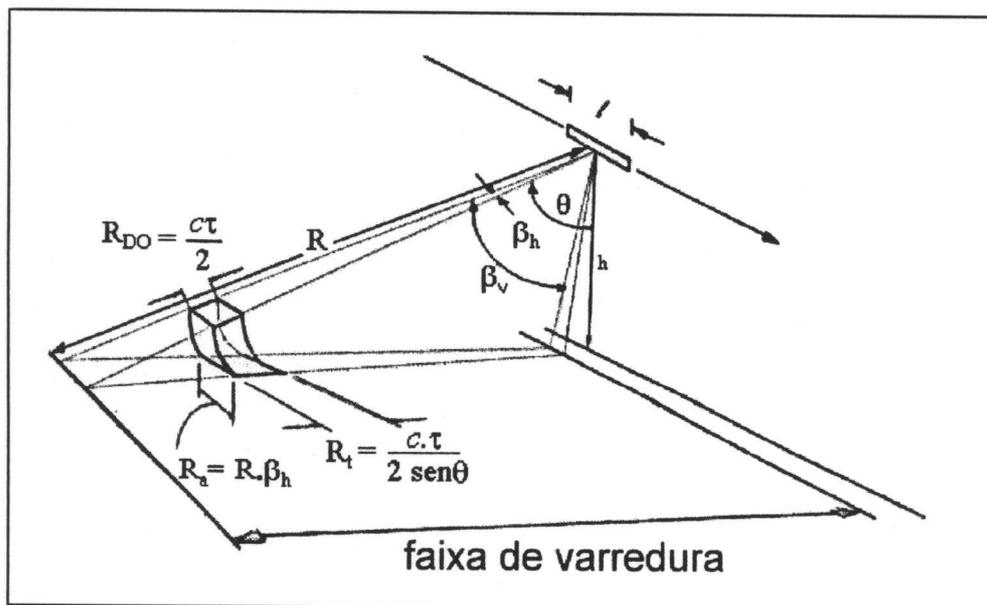
A resolução azimutal (R_a) é igual ao arco correspondente à largura do feixe e, é representada por:

$$R_a = R \cdot \beta_h = \beta_h \cdot h / \cos\theta, \text{ onde}$$

(R) é a distância da linha de visada, e

(h) a altura de vôo da aeronave.

Figura 4.5: Parâmetros de Resolução de imagens SLAR



Fonte: adaptação de Ulaby et al. (1981).

Repare que quanto mais distante estiver o sensor, maior será o arco correspondente e, conseqüentemente, pior será a resolução em azimute. Verifique também que, sendo R_t função do ângulo de incidência, ele não apresentará os mesmos

também que, sendo R_t função do ângulo de incidência, ele não apresentará os mesmos valores para diferentes distâncias oblíquas. Dessa forma, R_t é menor em distâncias menores, enquanto R_a é menor para distâncias maiores. Isso faz com que a forma do pixel seja alongada na direção transversal para pequenas distâncias e alongado na direção longitudinal para longas distâncias. O menor pixel possível ($R_{DO}.R_a$) é obtido para $\theta = 45^\circ$ (Ulaby et al., 1981).

3.(a) Radar de Abertura Sintética (SAR)

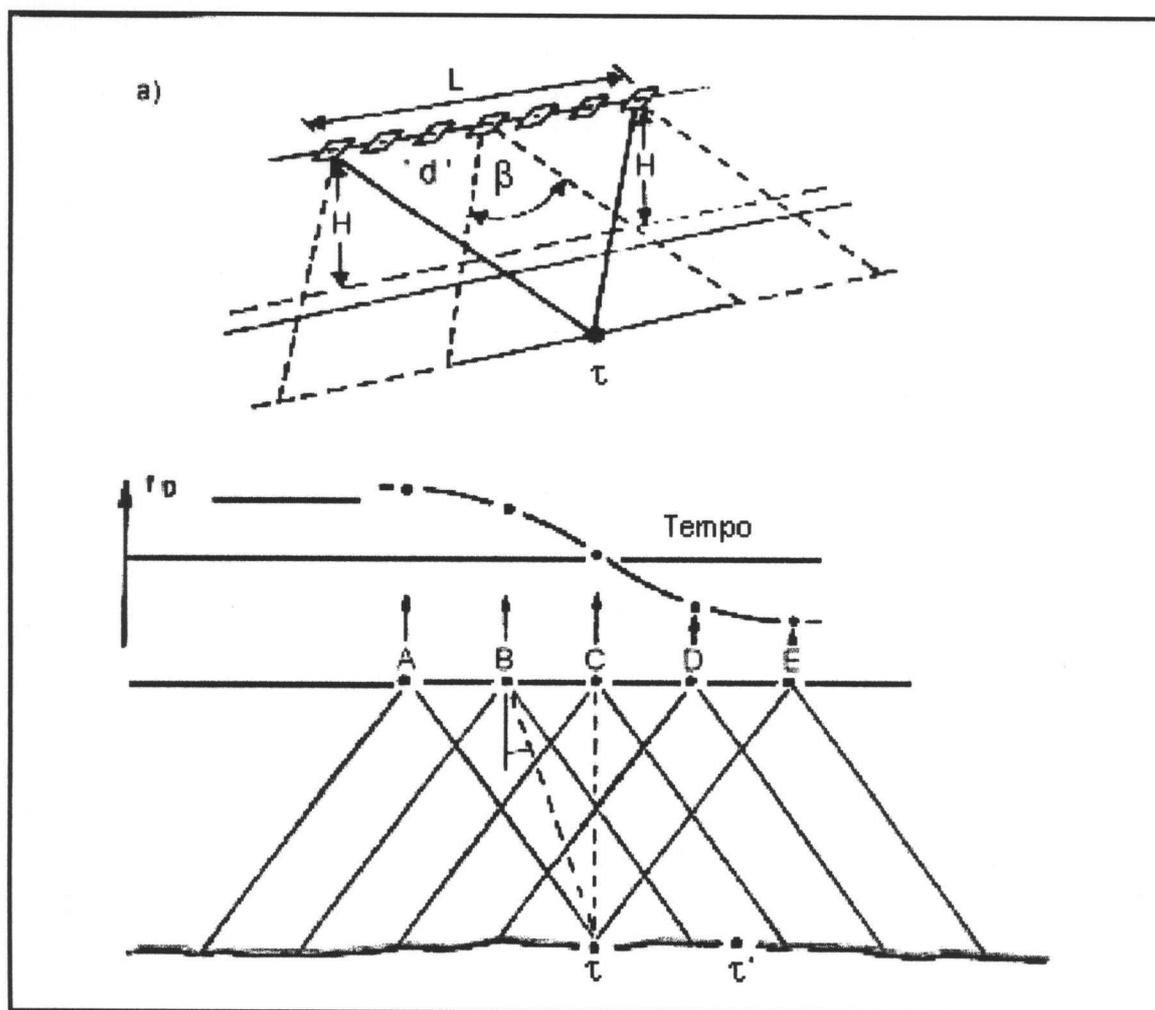
Radar de Abertura Sintética (Synthetic Aperture Radar - SAR) é um instrumento de sensoriamento remoto ativo que opera na faixa de microondas do espectro eletromagnético. Ele detecta a potência do sinal de retorno espalhado por uma unidade de área (σ^0) de uma determinada cena. Para cada pixel (R_a, R_t) associa-se um determinado valor (número digital) e, a esse valor, é atribuído um tom de cinza, que depois são arranjados bi-dimensionalmente formando a imagem radar (Fig. 4.4).

O SAR opera numa plataforma móvel e transmite uma série de pulsos coerentes bem curtos (frequência modulada) à superfície, perpendicularmente à direção de vôo. Diferentemente do RAR, que mede a amplitude “instantânea” do sinal de retorno de cada alvo, o SAR mede a amplitude e fase desse sinal de retorno durante um determinado intervalo de tempo t (Allan, 1983). O SAR utiliza-se do efeito Doppler e de técnicas especiais de processamento de dados para sintetizar uma longa antena efetiva - ao invés da aplicação de uma antena fisicamente longa - e, com isso, conseguir uma resolução azimutal mais fina e independente da distância. Para se determinar a resolução

azimutal (R_a), pode-se utilizar duas abordagens: do ponto de vista do estreitamento do feixe por efeito Doppler, e do ponto de vista da antena sintetizada (Ulaby et al., 1981).

Ambas as técnicas baseiam-se no fato de o alvo permanecer na faixa imageada por um período de tempo significativo, e ser observado pelo radar de vários pontos ao longo de sua trajetória. A Figura 4.6 (a) ilustra a aquisição de dados por um sistema SAR e a Figura 4.6 (b) o Efeito Doppler.

Figura 4.6: (a) Método SAR de Aquisição de Dados. (b) Efeito Doppler



3.(b) Efeito Doppler e Resolução Espacial do SAR

Se a distância relativa entre uma fonte - que transmite um sinal a uma frequência fixa f_0 - e um observador varia, o sinal recebido pelo observador terá a frequência f' , diferente de f_0 . Essa diferença, $\Delta f = f' - f_0$, é chamada de Variação Doppler. Se a distância entre a fonte e o observador diminuir, a frequência recebida é maior que a transmitida, resultando numa variação Doppler positiva ($f' > 0$). Se a distância fonte-observador aumentar, ocorre o inverso ($f' < 0$) e a variação Doppler é negativa (Allan, 1983).

Quando o sensor radar sobrevoa o alvo T, o eco de T apresentará uma variação Doppler positiva (quando T entra no feixe radar), que diminuirá até zero, e depois começará a aumentar negativamente enquanto T estiver dentro do feixe (Fig. 4.6 (b)). O espectro do eco de T cobrirá a região $f_0 \pm f_D$, onde:

$$f_D = (2v / \lambda) \cdot \sin\theta/2 \approx v \cdot \theta / \lambda = v / L, \text{ e onde,}$$

f_0 é a frequência do sinal transmitido, v a velocidade da aeronave e L o comprimento da antena.

Se tivermos um outro alvo T', separado de T pela distância D ao longo da dimensão azimutal. A história Doppler de T' será uma réplica da de T mas, com uma diferença de tempo igual a $t = D/v$. A menor variação de tempo que pode ser medida depois do processamento do sinal com banda espectral $B_D = 2f_D$ é igual a:

$$t_m = 1 / B_D = 1/2 f_D = L / 2v .$$

Derivando a resolução mais fina possível, temos:

$$D = v \cdot t_m = R_a = L / 2 ,$$

que é a mesma resolução azimutal obtida utilizando-se a técnica da antena sintetizada (Elachi,1987). Ela é a metade do comprimento da antena real e é, ao mesmo tempo, independente da distância em relação ao alvo e do comprimento de onda.

A resolução transversal para o SAR pode ser obtida da mesma forma que para o RAR, porém, essa não é a maneira mais usual, já que os sistemas de abertura sintética utilizam, em geral, pulsos de frequência modulada (“chirped pulses”) para obter uma resolução transversal alta sem ter que recorrer a pulsos muito curtos. Neste caso, temos a seguinte resolução transversal:

$$R_t = c / 2 B \text{ sen}\theta,$$

onde B é a largura de banda utilizada no pulso de frequência modulada, e que pode ser tão larga quanto necessária, sem que para isso, seja requerida uma grande potência de pico.

3.(c) Imageamento do Mar por Radar (SAR)

Segundo Ulaby et al. (1986), o imageamento do mar por SAR é um processo bem complexo, pois ambos, o radar e o alvo, estão em movimento. Esse problema, entretanto, é tratado minuciosamente por eles.

Para (Allan,1983), o imageamento por radar, tanto com o RAR, quanto com o SAR, baseia-se no mapeamento da energia retroespalhada por uma determinada área sob vigilância. A difusão das ondas eletromagnéticas pela superfície do mar depende, principalmente, da *Rugosidade Superficial* que, por sua vez, é influenciada pela presença:

- ventos, correntes,
- ondas, e
- manchas (antropogênicas ou não); e,

por *Parâmetros do Radar*, como:

- ângulo de incidência;
- frequência;
- polarização;
- resolução.

Quando, nem ondas, nem vento estão presentes, o mar fica como se fosse um espelho (superfície especular), e para ângulos de incidência (θ) maiores que zero, a difusão por unidade de área (σ^0) é muito baixa. Quando o vento se torna presente, ondas aparecerão e σ^0 aumentará para ângulos fora-nadir¹². Na região das microondas, são as ondas capilares e gravitacionais pequenas, as principais responsáveis pelo maior efeito de difusão: a difusão Bragg. Essa primeira componente de espalhamento é, então, modulada por ondas gravitacionais maiores, correntes, ondas internas, etc.; fazendo com

¹² Nadir : localização dos pontos na superfície da Terra, diretamente abaixo do radar, conforme o mesmo vai progredindo ao longo de sua linha de vôo.

que haja mudanças no ângulo de incidência, na distribuição das ondas capilares e na tensão superficial (Madsen, 1994).

A detecção de óleo no mar é baseado na diferença entre o coeficiente de retrodifusão de uma mancha de óleo e do mar despoluído ao redor. O filme de óleo sobre as ondas atua como um filtro passa-baixo, abafando as ondas capilares, diminuindo assim, o retroespalhamento principal.

4.4. DEFINIÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

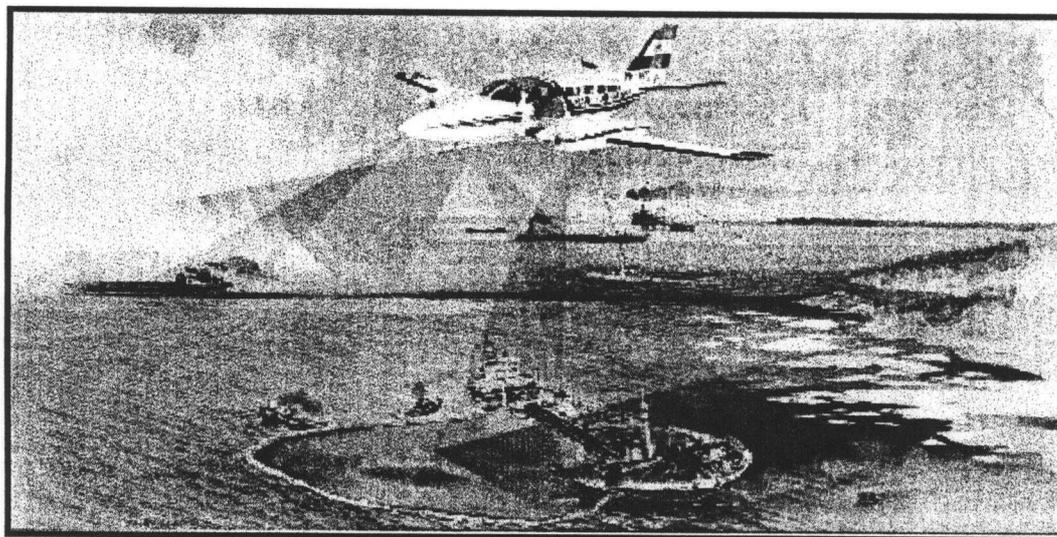
Para se decidir qual tecnologia adotar - SAR ou RAR - no dimensionamento do SVM, foram comparados dois subsistemas de Aquisição de dados; um produzido pela Companhia Espacial Sueca (RAR), instalado no avião Cessna 404 (Fig.4.7), e utilizado pelo México, Holanda e Inglaterra; e o outro (SAR), que opera em um avião Cessna 441 Conquest, construído pela Intermap do Canadá. Estamos falando do Sistema de Vigilância Marítima Sueco e do "STAR 2 (Conquest) SAR System", respectivamente.

Os dois Sistemas de Vigilância Marítima são compostos fundamentalmente pelos radares aerotransportados, que devido ao baixo peso e consumo de energia, também, podem ser instalados em uma grande variedade de aeronaves; e pelos instrumentos de recepção de sinais em terra.

4.4.1. O Sistema de Vigilância Marítima da Guarda Costeira Sueca, na sua configuração completa custa 2 milhões de dólares, e é equipado com um RAR, um

escanner IV, e um UV, um radiômetro de microondas, câmeras fotográficas, e pelo sistema de controle e comando (Swedish Space Corporation,1996). Nem os equipamentos de recepção de sinais no solo, nem os custos de instalação e treinamento, estão incluídos no pacote .

Figura 4.7: Sistema de Vigilância Marítima da Guarda Costeira Sueca, Equipado com um RAR, um Escanner IV, um UV, e um Radiômetro de Microondas



Fonte: Extraído de Swedish Space Corporation (1996).

- **Radar de Aerotransportado de Visada Lateral - SLAR - (Side Looking Airborne Radar):** esse sistema permite vigiar grandes áreas, pois têm um campo de visada de até 80 km de alcance, possibilidades de processamento em tempo real, e de gravação em fita cassete para posterior processamento e impressão. Por hora, são capazes de investigar áreas de 15.000 km² para detecção de barcos salva-vidas e manchas de óleo; 30.000 km² para barcos pesqueiros pequenos, e 60.000 km² para navios e cargueiros. Eles se utilizam de um vídeo de TV para apresentação em tempo real da imagem adquirida, mostrada sobreposta a uma carta náutica local e que se move

concomitantemente à aeronave. Quando os alvos são registrados na tela, sua posição geográfica e distância em relação à mancha são calculadas automaticamente e registradas no computador de bordo.

Tabela 4.3: Principais Parâmetros RAR

Força de pico transmitido	200 quilowatts
Frequência	9250 megahertz
Duração do pulso	0.2 microsegundos
Frequência de repetição do pulso	750 pulsos por segundo
Ângulo de depressão	1.5°
Comprimento da antena	2.4 metros
Ganho de pico da antena	35 decibéis
Perdas na transmissão	2.2 decibéis
Perdas na recepção	1.95 decibéis
Faixas de varredura	24/32/64/128 quilômetros

Fonte: Manning, Jr (1980).

- **Scanner Infravermelho e Ultravioleta:** são utilizados para escanear as áreas foranadir e que não são imageadas pelo RAR. Possuem o campo de visada bem menor do que os sensores SLAR, não operam simultaneamente à noite (só os IV), e nem são capazes de penetrar nuvens ou neblina. Quando utilizados em sinergia como o RAR é possível se diferenciar a presença de massas de água frias das manchas de óleo. Além disso, de dia, indicam com boa precisão a variação de espessura da mancha, em função da diferença da absorção solar e o grau de espalhamento da mancha, permitindo que os equipamentos de retenção e recuperação de óleo sejam deslocados para as regiões mais espessas da mancha, onde se concentra a maior parte do óleo. Segundo Holliger & Menella (1973), 90% do óleo fica restrito a uma área que representa menos de 10% do total (visível).

Tabela 4.4: Parâmetros de Operação dos Scanners Lineares IV e UV.

Escanner Infravermelho	Canal 1	Canal 2
Banda de resposta do infravermelho	7.6-13.8 micrômetros	7.6-13.8 micrômetros
Resolução Angular transversal	2.5 miliradianos	2.5 miliradianos
Resolução Angular em Azimute	2.5 miliradianos	14 ± 4 miliradianos
Diferença de temperatura detectada	0.2° Kelvin	0.02° Kelvin
Escanner Ultravioleta	Canal 3	
Banda de resposta do ultravioleta	0.320-0.400 micrômetros	
Resolução Angular	5.0 miliradianos	
Sensibilidade medida	17 db para irradiações da cena de 0.2 watt/m ² e reflectância do alvo de 20%	
Velocidade/altitude para uma cobertura linha à linha	0.02 - 0.20 radianos por segundo	
Altitude de operação	150-3600 metros	

Fonte: Manning, Jr (1980).

- **Câmera de Reconhecimento Aéreo:** as câmeras fotográficas e de vídeo são usadas, principalmente, para o registro de evidências com boa qualidade. Experiências anteriores demonstraram que as câmeras são indispensáveis para vigilâncias rotineiras, identificação e documentação (Swedish Space Corporation, 1996).
- **Radiômetro de Microondas:** os radiômetros de microondas são usados para o mapeamento da espessura da mancha, e ajudam nos cálculos computacionais para determinação do volume total de óleo derramado. Para ser operacionalmente útil, o radiômetro deve ser usado simultaneamente com os “scanners” IV e UV.
- **Sistema de controle e comando:** é composto pelo Processador Central (CP) que atua como controlador, processador e gravador de dados no Sistema de Vigilância Marítimo. O CP trabalha com dois monitores de TV. coloridos, um mostrando a imagem captada pelo sensor, e o outro mostrando o menu e “status” do sistema. O

menu informa ao operador os comandos disponíveis naquele momento, no intuito orientá-lo durante a operação do sistema. O sistema completo é controlado interativamente pelo operador, que se utiliza de um teclado para entrar com os comandos escolhidos no menu. Um “mouse” também é usado para marcar alvos e desenhar cartas a partir das imagens na tela. O processador Central também conta com uma sistema de visualização de mapas da área de operação - previamente elaborado - no qual é traçada a rota da aeronave e registrados outros dados, como alvos, marcadores de tempo, imagens dos sensores selecionados, e notas feitas durante a campanha de limpeza. As figuras produzidas são, então, transmitidas à estação de recepção de sinais em terra. Ou por bandas estreitas - no caso, a banda X - utilizada para transmitir imagens digitais de alta resolução à estação de recepção em terra e aos navios mobilizados nas operações de limpeza; ou por bandas largas - canais HF (High Frequency) e VHF (Very High Frequency) - utilizados para transmitir às estações de recepção dados de imagens sintéticas (processadas) e texto. Sua principal função é a de fornecer informações relevantes aos centros de comando em terra ou no mar.

- **Equipamentos de Recepção de Sinais no Solo:** o Terminal de Avaliação de Dados (TAD) é uma estação de recepção poderosa. Contém um processador central que é usado na recepção de sinais, e na interpretação das informações transmitidas. As figuras são apresentadas num monitor colorido e o sistema é controlado pelo operador que se utiliza de um segundo monitor, contendo os comandos do menu, que também é acessado por via teclado ou “mouse”.

4.4.2. Sistema “STAR 2”

O Sistema “STAR 2 (Conquest) SAR System” construído pela Intermap do Canadá, opera em um avião Cessna 441 Conquest, com capacidade de operação de 5 a 7 horas ininterruptas, em viagens de até 1800 milhas náuticas. O SAR possui dois modos de operação, que providenciam respectivamente diferentes faixas de varredura e resoluções espaciais. A faixa de varredura longa usa píxeis de 15.5 m e alcança uma distância de 63 km de um lado da aeronave. A curta, cobre 17 km de extensão com píxeis de 4.2 metros de resolução. Ambos os modos possuem uma grande quantidade de visadas (7) resultando numa ótima resolução radiométrica.

O sistema é capaz de mapear terrenos de baixa refletividade ($\sigma^0 \geq -30$ db). Essa capacidade é conseguida com o uso de um transmissor de 8-kW TWT, uma antena com ganho de 32 db (uma única direção), e um amplificador de baixo ruído instalado em frente ao receptor. É equipado também por equipamentos de navegação, que incluem, um sistema de gerenciamento de vôo composto por um sistema de navegação inercial (INS) e um sistema de posicionamento global (GPS). Podem ser acoplados, ainda, “scanners” infravermelhos e ultravioletas, ou lasers fluorescentes, para obtermos um mapeamento preciso da densidade da mancha de óleo.

Os dados são processados e gravados a bordo da aeronave pela Unidade de Gerenciamento de Dados em tempo real, e em discos magnéticos de 2Gbytes, e

posteriormente, transferidos para fitas 8-mm. Os dados são mostrados a bordo por um monitor gráfico de alta resolução e transferidos para as estações de recepção em terra, ou aos barcos de apoio no mar. A transmissão dos dados é feita, opcionalmente, pela banda S (2.4GHz) a 700kbps, até distâncias próximas a 372 Km. Essa opção de configuração pode ser alterada acrescentando-se à ela sensores óticos e antenas de polarização cruzada.

Tabela 4.5: Principais Parâmetros do sistema STAR 2

Altitude	8.900 m
Velocidade	180 m/s (máximo)
Frequência	9.375 MHz
Tamanho do pixel	4.2 ou 15.5 m
Tamanho do pixel em azimute	5.4 m
comprimento do pulso transmitido	10 μ seg/ 30 μ seg
Faixa de varredura	17 ou 63 Km
Tamanho da antena	1.44 x 0.2 m
Polarização	HH (na transmissão e recepção)
Potência de pico transmitida	8 kW
Tempo de Operação do RADAR	de 5 a 7 hs
Tempo de formação da imagem	12 s (máx.)
Peso do sistema	545 Kg

Fonte: Intermap, 1996.

Tabela 4.6: Custos de Implementação do Sistema STAR 2

STAR 2	Milhões de Dólares Americanos
Avião Cessna Conquest - 1979	1.2
RADAR	2.0
Laser Fluorescente	0.2
Escanner IV - UV	0.3
Estações de terra	0.3
Transmissão de Dados	0.3
Treinamento	0.2
Garantia e Manutenção (1 ano)	0.3
Peças de reposição	0.5
Total	5.2

Fonte: Intermap (1996).

Para “leasing”, os custos são: 400.000 dólares por mês com 10 horas de utilização e mais 700 dólares por hora adicional; os custos de operação são 550 dólares por hora, e os de combustíveis, mais US\$200 por hora.

Considerando que o Brasil, através do INPE, já dispõe da tecnologia SAR, a sua utilização no SVM permitiria contar com as instalações e facilidades que o INPE oferece, como, por exemplo, no treinamento de mão-de-obra especializada, fator fundamental no processo de interpretação das imagens.

Além disso, a tecnologia RAR já vem sendo substituída pela SAR, à medida que novos programas de tratamento de dados são produzidos e os equipamentos adquirem mais capacidade de armazenamento de dados. Mastin et al. (1994), também, consideram iminente a substituição da tecnologia RAR pela SAR nos equipamentos que compõem os aviões de patrulhamento costeiro da Guarda Costeira Americana. Portanto, para o SVM devemos utilizar o Radar de Abertura Sintética.

(C) Logística

Definida a tecnologia adotada, o próximo passo é a escolha da aeronave, que é feita em função dos recursos financeiros, dos parâmetros técnicos da aeronave envolvidos (segurança, autonomia, velocidade, etc.), das estratégias de vigilância estabelecidas pela Marinha (frequência de vôos, distâncias envolvidas, etc.), e do tamanho das áreas a serem cobertas durante as missões de vigilância. Para missões de

pequenas distâncias e em regiões com alta frequência de dias de céu encoberto, como é o caso do Terminal marítimo de São Sebastião - SP, por exemplo; a melhor opção é um avião que seja capaz de operar sob condições climáticas adversas, mas que seja versátil e de baixo custo operacional. Nesse caso, os aviões mais indicados são os de pequeno porte, como os bimotores Cessna, ou o Sênica da Embraer.

Para campanhas de vigilâncias mais longas (Bacia de Campos), entretanto, os mais indicados seriam os aviões de maior porte, turbo-hélices, capazes de operarem sob condições precárias de visibilidade e à maiores altitudes, como, por exemplo, o King Air 2.000 ou o Bandeirante.

Outro ponto considerado, e também importante, é a definição dos locais de instalação dos equipamentos de recepção de sinais que devem ser escolhidos observando-se os limites de distância entre os equipamentos de transmissão de sinais na terra e no ar.

Por último, estipulam-se as estratégias de vigilância e os procedimentos necessários para operações de respostas emergenciais.

As responsabilidades pela operação executiva do sistema ficará sob responsabilidade da Diretoria de Portos e Costas (DPC) do Ministério da Marina, que fornecerá além da mão-de-obra especializada, o treinamento à outras entidades, como prefeituras dos municípios vizinhos, universidades, defesa civil e a CETESB. A instalação do Terminal de Avaliação de Dados e do Subsistema de atendimento ao

usuário devem ficar próximos aos portos, terminais marítimos, ou regiões produtoras de óleo. De preferência, nos Departamentos regionais de Portos e Costas da Polícia Naval

As operações são conduzidas por equipes, devidamente treinadas, formadas por um piloto e um operador do sistema, que se revezam semanalmente, entre as operações diurnas e noturnas.

Segundo McFarland (1994), o uso simultâneo de diferentes sensores, geram uma grande quantidade de dados que devem ser “filtrados” antes de serem enviados. Nesse caso, os observadores devem ser treinados para garantir uma apresentação consistente dos resultados, observando-se os seguintes aspectos:

- As informações sobre a segurança da aeronave e as operações de emergência na água.
- Técnicas de observação do óleo na água (os principais tipos do produto que devem ser encontrados, os processos intempéricos de degradação do óleo na água, e as diferentes formas que o óleo aparece na água. Como estimar a área e o volume das manchas; e como escolher os planos de vôo e logística).
- Fenômenos naturais frequentemente confundidos com manchas de óleo, como os filmes orgânicos (algas) ou correntes de águas mais frias.
- Apresentação das informações: seus principais termos e vocabulário, mapeamento e técnicas de visualização de imagens.

4.3.1.3. Subsistema de Suporte ao Usuário

Além dos serviços prestados aos órgãos envolvidos diretamente no combate a derramamentos de óleo, esse subsistema também prevê a implementação de uma rede cooperativa de estudos ambientais das regiões ecologicamente sensíveis ao óleo. Essa rede seria composta a partir das instituições que possuem vocação institucional de atuação na região, respeitando e aprimorando as competências existentes. Os princípios de organização da rede seriam:

1. Cada instituição participante será responsável por gerar dados e produtos ambientais, conforme sua atribuição: O INPE seria responsável pelo fornecimento de imagens de satélites, pela implementação de softwares de processamento de imagens e banco de dados ambientais; e à CETESB caberia o monitoramento das áreas atingidas e unidades de conservação (parques nacionais e áreas de preservação ambiental), e a elaboração de mapas temáticos da região em formato digital, em convênio com Universidades.
2. As bases de dados produzidas serão descentralizadas, e acessíveis às instituições participantes através da internet.
3. A Marinha, através de uma comissão coordenadora, será responsável pelo estabelecimento da rede, da normatização dos aspectos relativos à política de acesso aos dados, e ao programa de formação de pessoal.

Capítulo 5 - Conclusões

Partindo do princípio que os mares e oceanos são de importância vital para a saúde do planeta, seja porque controlam seu clima através do ciclo hidrológico, ou porque abrigam delicados ecossistemas e espécies de vida, que são responsáveis pela produção do oxigênio que respiramos e a comida que nos alimentamos, a nossa obrigação é a de preservá-los. Manter esses sistemas em equilíbrio, significa melhorar a economia e a qualidade de vida dos moradores litorâneos. Mas para preservá-los é preciso conhecê-los. E para conhecê-los é necessário estudá-los.

Apesar de ser considerado como o país que abriga a maior biodiversidade do planeta, no Brasil, diversas atividades humanas, como derramamentos de óleo; pesca ilegal; despejos de efluentes industriais líquidos e gasosos; esgotos urbanos; rejeitos sólidos; calor e radiação; que somados à ausência de mecanismos de vigilância e monitoramento de seus recursos naturais e ecossistemas, de medidas eficazes de resposta e combate a acidentes, e à precária legislação ambiental; sujeitam o ambiente marinho brasileiro à constante depreciação e sob o risco de ser destruído antes de ser devidamente estudado.

Portanto, para preservá-lo, é imprescindível sabermos quais são essas atividades e seus respectivos poluentes, como eles entram no ambiente marinho, qual a significância dos impactos ambientais causados por cada um deles, o que está, e o que poderia ser feito para a redução dos mesmos.

O Brasil é um país consumidor intensivo de petróleo, e também produtor, mas, mesmo assim, necessita de importações para manter o estoque interno devidamente abastecido e regulado. Atualmente, o país consome cerca de 1,5 milhão de barris de petróleo por dia, produz aproximadamente 900 mil, e importa o resto. Desses 900 mil, 74% é produzido no mar. Da prospecção; passando pela produção, transporte e refino; até o consumo final de derivados petróleo, há o constante risco de acidentes envolvendo derramamentos de óleo no mar. Sem contar, ainda, com as inúmeras atividades clandestinas e ilegais praticadas em nossas águas territoriais, que apesar de não causarem efeitos tão espetaculares nem de receberem muita atenção pública como os grandes acidentes recebem, são consideradas, juntas, mais perigosas que os acidentes isolados. A indústria do petróleo - do ponto de vista energético - é, sem a menor dúvida, a atividade humana que mais polui o litoral brasileiro.

Navios afretados, que na maioria das vezes são registrados sob bandeiras, cujas legislações muito brandas permitem navios mais antigos operarem sem a exigência de pagamento de taxas-seguro e o cumprimento de regulamentações internacionais; navios que se utilizam das correntes marinhas do Brasil como caminho entre o Oriente Médio e os Estados Unidos; operações rotineiras desses e de outros navios, como cargueiros, pesqueiros e transatlânticos; operações irregulares nas plataformas de produção; etc.; são algumas das fontes de poluição que clamam ao órgão fiscalizador uma vigilância ostensiva capaz de detectar manchas de óleo que eventualmente apareçam no mar, localizar as fontes suspeitas, e documentar provas para uma posterior penalização dos responsáveis. No mar do Norte, por exemplo,

operações rotineiras de vigilância aérea sobre as principais rotas marítimas, localizaram 652 manchas de óleo no mar, além dos 673 casos de derramamentos de óleo confirmados em 1993, mas em apenas 2 desses casos, foi possível processar os culpados. Dos casos confirmados a fonte poluidora foi identificada em 63% deles.

Em grandes acidentes, entretanto, a grande preocupação não é mais apenas detectar o óleo, mas sim avaliar a situação fornecendo informações de apoio para os coordenadores dos planos de ação decidirem as melhores estratégias de resposta e combate ao derramamento de petróleo. Quanto mais rápido eles se decidirem, mais óleo se remove do mar, menos pessoas e ecossistemas são atingidas, além de se reduzir significativamente os custos de limpeza (mão-de-obra, dispersantes, equipamentos, etc.) e armazenagem de resíduos.

Nos grandes países produtores e consumidores de petróleo, esse problema já não representa tanto perigo como no Brasil. Medidas preventivas sustentadas por sistemas de vigilância marítima e medidas regulatórias e punitivas de alto poder coercitivo, vem garantindo nos últimos anos uma tendência de redução dos derramamentos de pequeno e médio porte (até 700 t), justamente o contrário do que acontece no Brasil. Além disso, não se economizam esforços nem recursos para que as equipes de emergência possam estar devidamente treinadas, equipadas, e de prontidão para eventuais desastres. E, mesmo assim, estabelecem-se cada vez mais medidas regulatórias e restritivas (OPA-90), a ponto, de comerciantes do setor

cogitarem a hipótese de suspender suas atividades, devido aos altos custos envolvidos para a preservação do meio ambiente.

No Brasil, a situação é de verdadeiro descaso: primeiro, porque a detecção dos derramamentos de óleo na região é função da Marinha, mas ela não dispõe de meios, nem de recursos para atuar eficientemente, e na maioria das ocorrências, ela é a última a saber. Segundo, porque quem detecta e notifica os acidentes é a própria empresa que polui, que paga as despesas de limpeza e remoção do óleo, e das respectivas multas. Se ninguém ficar sabendo de um eventual acidente, não existem culpados. Muito menos multas para pagar e óleo para limpar. Terceiro, porque a “vigilância” é restrita apenas aos limites do Terminal,; ou através de denúncias da população em geral.

Com relação às respostas emergenciais, a situação não é diferente. Apesar de algumas unidades operacionais contarem com equipamentos de contenção e remoção de óleo, o que se tem percebido, através dos relatórios, pela CETESB, elaborados, é que não há mão-de-obra especializada disponíveis de prontidão para avaliarem a situação, nem equipamentos suficientes para monitorarem o desenvolver das ações em tempo real. Na maioria das vezes, o monitoramento é feito a pé ou de carro, algumas vezes utilizam-se de embarcações e, raramente, devido à disponibilidade, fazem uso de aeronaves. Isso significa, que as operações de monitoramento das manchas só podem ser feitas nos dias de sol, durante o horário comercial, em áreas restritas, e, o mais importante, as informações relevantes sobre o tamanho, volume e distribuição da espessura das manchas não são registradas.

Essas informações, além de serem imprescindíveis para se decidir o tipo de estratégia adotar, dia a dia, durante a operação de resposta, servem também para se medir a eficiência das ações e procedimentos adotados, prever cenários para novos acidentes, criar novas estratégias de resposta, no treinamento de situações emergenciais hipotéticas, na avaliação dos impactos de novas políticas ou acordos internacionais para o controle da poluição marinha.

Atualmente existem apenas duas tecnologias capazes de detectar embarcações suspeitas (pesca, contrabando, ilegal, etc.) e manchas de óleo no mar, vistoriando grandes áreas; tanto de dia, quanto de noite; no sol, ou na chuva. São os radares de abertura real (RAR) e os radares de abertura sintética (SAR), também conhecidos como radares de visada lateral (SLAR). Apesar de já serem consagrados nos sete mares, os RAR, atualmente, estão sendo substituídos pelos SAR, devido à sua metodologia de processamento de sinais e aquisição de imagens. Ele consegue, com isso, melhores resoluções e conseqüentemente obter melhores resultados (imagens) independentemente da distância do alvo. A principal desvantagem é que eles exigem equipamentos com maiores capacidades de armazenamento de dados e, por isso, são mais caros que os seus antecessores. Mas, a cada ano, novas tecnologias são incorporadas e a tendência é que os custos caiam.

Mas sozinhos, os radares não conseguem todas informações sobre a mancha e a região em questão, necessitando de equipamentos de apoio que forneçam dados ambientais, meteorológicos, oceanográficos, geofísicos, logísticos, etc., para

sustentarem com base científicas os planos de ação. Esses equipamentos podem ser tanto sensores ultravioletas, infravermelhos e lasers aerotransportados, como estações meteorológicas fixas em terra, ou móveis no mar (bóias, barcos e sondas) e no espaço (satélites). Cada um com sua função específica.

Apesar de operacionalmente mais baratos que os radares aerotransportados, por cobrirem grandes áreas em um único imageamento, os radares orbitais (SAR) não possuem frequência orbital, nem memória suficiente para serem operacionalmente viáveis. Entretanto são muito utilizados para se medir alguns parâmetros oceanográficos e geofísicos em projetos de pesquisa. Já os outros satélites científicos, são indispensáveis para se estudar grandes áreas costeiras, determinar a distribuição dos ecossistemas e de recursos naturais e monitorar os efeitos de longo prazo causados pelo petróleo, fazer previsões de tempo, monitorar a ocupação do solo, etc. Esses estudos são importantíssimos para a atualização de mapas utilizados nos planos de contingência e no estudo de áreas remotas cujo acesso é intransponível.

As aeronaves, por outro lado, são operacionalmente mais caras, mas nos possibilita a flexibilidade e rapidez de resposta que os satélites não nos proporcionam. Além disso, podem ser utilizadas não só para o monitoramento de manchas de óleo, mas também para uma vasta gama de outros propósitos, como para a prevenção de pesca predatória, na salvaguarda da vida humana (localização e resgate de naufragos), no combate ao contrabando e tráfico de drogas, no planejamento urbano e costeiro da ocupação do solo, na elaboração de mapas temáticos (mapas de marés e variação sazonal de áreas alagadas, por exemplo), no auxílio à pesquisa, etc.

A viabilidade ou não da implementação do projeto depende muito mais de forças políticas do que financeiras. Com um custo de implementação de US\$ 5,2 milhões e de US\$ 750 por hora de operação, o sistema de vigilância marítimo poderia ser viabilizado através da cooperação financeira entre prefeituras cujos municípios são constantemente atingidos por poluição causada por óleo ou que necessitam de serviços, como os acima mencionados. Nesses casos, a instalação de novos centros de retransmissão de sinais faria com que uma única aeronave fosse capaz de cobrir uma área muito maior do que a prevista inicialmente com uma única central de armazenamento de dados, permitindo, assim, que todos os municípios participantes tivessem à sua disposição o sistema de vigilância marítima.

Outra forma de se viabilizar o SMV seria através da parceria entre as prefeituras e empresas privadas interessadas em atuar na área de prestação de serviços, mas a forma ideal, ao meu ver, seria com a implementação de um fundo caixa vinculado à uma nova legislação específica para a poluição marinha por petróleo, e que seria designado para custear os gastos com a recuperação dos impactos negativos causados por ele.

E, de fato, essa necessidade de mudarmos a legislação atual é iminente, haja visto que, com o anteprojeto de lei que extingue o monopólio do petróleo, qualquer empresa privada constituída sob as leis brasileiras e que demonstre capacidade técnica e financeira poderá explorar, produzir, refinar, exportar e importar petróleo. Isso significa, que ao invés de termos uma única empresa responsável pelos

derramamentos de óleo, passarão a existir centenas e até milhares de empresas dispostas a poluir e não pagar, como acontece hoje.

A Marinha por sua vez, tem que descruzar os braços e começar a atuar de maneira ostensiva sobre as águas costeiras, coibindo operações ilegais rotineiras, e punindo com rigor os verdadeiros responsáveis pelos acidentes e prejuízos.

A CETESB, que também sofre com a falta de mão-de-obra qualificada e recursos financeiros deveria, então, se organizar melhor, documentando informações dentro de uma base de dados dinâmica e moderna, que serviriam tanto para estudos internos, quanto no auxílio aos municípios atingidos e à população em geral, através do suporte às pesquisas científicas desenvolvidas por universidades e outros institutos e organizações.

Dessa forma, criariam-se condições para que as atividades ilegais que tanto depreciam a costa brasileira diminuíssem, as pesquisas científicas ganhariam maior rapidez e credibilidade com uma base de dados adequada, e conseqüentemente os ecossistemas litorâneos passariam a ser mais conhecidos, estudados e preservados para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ABDULAZIZ, A. (1993) "Locating Oil Spill Response Centres Using Mathematical Models". In **Marine Pollution Bulletin**, v.26, Nº 4, pp. 216-219.
- ALLAN, T. D. (1987) **Satellite Microwave Remote Sensing**. Marine Sciences, Institute of Oceanographic Sciences, Wormley, Surrey.
- ARAÚJO, S.M. (1996) "Óleo na praia... culpa de quem?". **Petrobrás**, Rio de Janeiro.
- BARCELLOS, P. P. (1986) "Impactos Ambientais da Indústria do Petróleo: da produção ao consumo final". Tese de mestrado pela, **COPPE/UFRJ**, Rio de Janeiro.
- BOTTER, R.C. & Smith, H.D. (1994) "Control and Prevention of Marine Oil Pollution". In **IPEN journal**, junho/94, Nº 14, pp.59-67., College of Cardiff, U.K.
- BURGER, A. (1993) "Estimating the Mortality of Seabirds Following Oil Spills: Effects of Spill volume. In **Marine Pollution Bulletin**, v. 26, nº 3 , pp. 140-143.
- CETESB (1992) - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (julho/1992) - "Proposta de Critério para Valoração Monetária de Danos Causados por Derrames de Petróleo ou de Seus Derivados no Ambiente Marinho". pp. 21.
- CETESB (1992) - Operação TEBAR IV: relatório de Atividades. CETESB, pp 98.
- CLARK, R. B.(1986) **Marine Pollution**. Oxford University Press, New York, 3th ed.
- CLARK, C. D. (1993) "Satellite Remote Sensing for Marine Pollution Investigations". In **Marine Pollution Bulletin**, v.26, Nº 7, pp.357-368.
- CONTI, L.(1991) **Ecologia: capital, trabalho e ambiente**. 2^a Ed., Editora Hucitec, pp158.
- CRACKNELL, A. P. et al.(1983) "Sattelite remote sensing, environmental monitoring and the offshore oil and gas industries". In **Proceedings of a EARSeL/ESA Symposium on Remote Sensing Applications for Environmenal Studies, Brussels, Belgium**, pp.163-171.
- INST/CUT (1992) - Instituto Nacional de Saúde no Trabalho/CUT - "**Roteiro para Avaliação das Condições de Vida e de Trabalhos em Três Regiões: ABC/SP, Belo Horizonte e Vale do Aço/MG, e Recôncavo Baiano**". Ed.INST/CUT, pp.80.

- DAMIÃO, D. P. (1994) "Análise comparativa de imagens multissensores (TM/Landsat e SAR/ERS-1) e multi-temporais na região de Guaíra-SP". Tese de Mestrado, INPE, São José dos Campos, SP.
- DOERFFER, J.W. (1993) **Oil Spill Response in the Marine Environment**, Pergamon Press, Oxford, New York.
- DUINKER, P.N. & BEANLANDS, G.E. (1986) "The Significance of Environmental Impacts: an Exploration of the Concept". In **Environmental Management**, v.10, nº 1, pp. 1-10.
- ELACHI, C. (1978) "Radar imaging of the ocean surface". **Boundary-Layer Meteorology** 13, pp. 165-179.
- FELLEMBERG, G. (1980) "Introdução aos Problemas da Poluição Ambiental". São Paulo, E. Pedagógica e Universitária.
- FELTRE, R. (1988) **Química Orgânica**, Ed.Moderna, 357 pp. 2ª edição.
- GEISTAUTS, G. A. (1992) "Strategic management of oil spills: some lessons from Exxon Valdez disaster". **OPEC Review**, pp. 243-260.
- GOLDEMBERG, J. et al. (1988) **Energy for a Sustainable World**. Wiley Eastern limited, India.
- HOLLINGER, J.P. & MENELLA, R.A. (1973) **Oil spills: Measurements of their distributions and volumes by multifrequency microwave radiometry** *Science*, v.181, pp.54-56.
- ILOPF (1986) - International Tanker Owners Pollution Federation LTD. **Response to Marine Oil Spill**. Witherby & Co. Ltd, London.
- ILOPF (1995) - International Tanker Owners Pollution Federation LTD - "Oil Spill Database". Pp.7.
- KRAUSE, F. et al. (1989) "Energy Policy in the Greenhouse. V. 1 From Warning Limit Benchmarks for Global Climate Convention - Final Report. International Project for sustainable Energy Paths (IPSEP), El Cerrito, CA.
- MCINTYRE, A. D. (1995) "Human Impact on the Oceans: The 1990's and Beyond", in **Marine Pollution Bulletin**, v.31, nº 4-12, pp. 147-151.
- MADSEN, S. et al. (1994) "A Comparison of VV and HH Polarized SLAR for Detection of Oil on the Sea Surface". **Proceedings of the Second Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments: Needs, Solution and Applications**. v.I, New Orleans, Louisiana, pp. I-498.

- MANNING, JR. A. P.; WHITE, J.R. & VOLLMERS, R.R. (1980) "Current Status of Remote Sensing for Oil Pollution. Control in U.S. Coastal Waters". In **Proceedings of 16th International Symposium on Remote Sensing of the Environment**. v.1.
- MARINE POLLUTION BULLETIN (setembro de 1993). - "News : GESAMP Reports Decline in Oil Pollution". In **Marine Pollution Bulletin**. v.26, nº 9, pp.471-472.
- MASSIN, J.M. (1983) "Remote sensing applied to marine pollution control". In **Proceedings of a EARSeL/ESA Symposium on Remote Sensing Applications for Environmental Studies**, Brussels, Belgium, pp. 197-203.
- MME (1994) - Ministério das Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional** - ano base 1983.
- MME (1995) - Ministério das Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional** - ano base 1994.
- MOREIRA, I.V.D. (1989) **Avaliação de Impacto Ambiental - Instrumento de Gestão**. Cadernos FUNDAP, São Paulo, ano 9, nº 16, pp. 54-63, jun/89.
- MULLER-KARGER, F.E. (1992) **Remote Sensing of Marine Pollution: A Challenge of the 1990's**. Marine Pollution Bulletin, Vol.25, 1-4, pp.54-60.
- NEAL, F. "The Ocean Environment: Marine Development Problems and Pollution". In **The Environment in Question - Ethics and Global Issues**. Ed. David E. Cooper & Joy A. Palmer, London.
- NIHOUL, C. & DUCROTY, J.P. (1994) "Impact of Oil on The Marine Environment: Policy of the Paris Commission on Operation Discharges from Off-Shore Industry". In **Marine Pollution Bulletin**, v.29, nº 6-12, pp. 323-329.
- NOVO, E.M.L.M.; et al. (1994). "Introdução ao Sensoriamento Remoto por Radar". Material do mini-curso ministrado pelo INPE entre 13 e 15 de junho de 1994, Manaus, AM.
- PETROBRÁS (1986) "O Petróleo e a Petrobrás em Perguntas e Respostas", **Petrobrás**, Rio de Janeiro.
- PETROBRÁS (1993) **Programa Ambiental da Bacia de Campos**. pp 169.
- PETROBRÁS (1996), Material cedido pela empresa em visita feita em 26 de março de 1996.
- POLIDORI, L.(1994) **Cours de Teledetection Radar**. São José dos Campos,SP. Sabins, F.F.,Jr. (1986) **Remote Sensing: Principles and Interpretation**. 2nd edition, New York, Freeman and Company.

SÁNCHEZ, L.H. (1994) "A Diversidade dos Conceitos de Impacto Ambiental Segundo Diferentes Grupos Profissionais". **5ª Conferência Regional da IUAPPA**. São Paulo, 10 pg.

SEAGER, J. (1990) **The State of The Earth - A Pluto Project**.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. (1986) **Manguezais Brasileiros: uma bibliografia (1614-1986)**. São Paulo, IO-USP/Sudelpa, pp59.

SEPA (1990) - Swedish Environmental Protection Agency - **Marine Pollution 90**. Action Programme. Ed. Norstedts Tryckeri, pp. 165.

TOMMASI, L.R. (1994) **Estudo de Impacto Ambiental**, Editado pela Cetesb, S.P-354 pp.

ULABY, F.T; et al.(1981) **Microwave Remote Sensing: active and passive. V.1: Microwave Remote Sensing Fundamentals and Radiometry**. Reading, MA, Addison.

ULABY, F.T; et al.(1982) **Microwave Remote Sensing: active and passive. V.2: Radar Remote Sensing and Surface Scattering and Emission Theory**. Reading, MA, Addison - Wesley.

ULABY, F.T; et al.(1986) **Microwave Remote Sensing: active and passive. V.3: From Theory to Applications**, Reading, MA, Addison-Wesley.