



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP



Carlos Mendonça do Espírito Santo

PROTECÇÃO DAS ZONAS COSTEIRAS CONTRA A POLUIÇÃO POR HIDROCARBONETOS

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Departamentos de Engenharia Civil e de Engenharia Química

**Protecção das Zonas Costeiras Contra
a Poluição por Hidrocarbonetos**

Carlos Mendonça do Espírito Santo

Licenciado em Engenharia Química pela Faculdade
de Engenharia da Universidade de Camagüey de Cuba

Dissertação submetida para satisfação
parcial dos requisitos do grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente, ramo de 'Tratamento de Águas e Águas Residuais'.

Dissertação realizada sob a supervisão de:
Fernando Francisco Machado Veloso Gomes, Professor Catedrático do
Departamento da Engenharia Civil e Rui Alfredo da Rocha Boaventura,
Investigador Principal do Departamento de Engenharia Química,
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Porto, Junho de 2000

628(043)/ESPC/PRO

UNIVERSIDADE DO PORTO
Faculdade de Engenharia
BIBLIOTECA 4
N.º <u>60236</u>
CDU <u>628(043)</u>
Data <u>29.5</u> /20 <u>02</u>

PROTECÇÃO DAS ZONAS COSTEIRAS CONTRA A POLUIÇÃO POR HIDROCARBONETOS

RESUMO

A prevenção e luta contra a poluição marinha é uma área que está em desenvolvimento pois, quer os grandes acidentes internacionais, quer os nacionais, têm mostrado a urgente necessidade de aquisição de equipamentos portuários, para responder à poluição que possa ocorrer nas zonas consideradas mais críticas, nas áreas de contenção, recolha, limpeza e tratamento ou eliminação de resíduos de hidrocarbonetos provenientes de acidentes. Essas acções de remediação estendem-se igualmente a outros produtos perigosos e poluentes, como os produtos químicos, e incluem a formação e treino de pessoal especializado oriundo de diversos departamentos oficiais (Defesa, Mar, Administração Interna, entre outros).

Outras fontes possíveis de poluição por hidrocarbonetos são as refinarias de petróleo, que poderão afectar quer as zonas costeiras próximas quer o solo, devido a fugas nas juntas, avarias no sistema de tubagens, corrosão do material, mau funcionamento da Estação de Tratamento de Águas residuais, etc.

Os modelos de simulação representam uma ferramenta importante para prever a evolução das manchas de hidrocarbonetos, contribuindo para o aperfeiçoamento do dispositivo e actividade das autoridades nacionais pela monitorização e combate à poluição.

Neste trabalho teve-se em conta a exploração *off-shore* e o transporte marítimo de hidrocarbonetos, as suas propriedades físicas e químicas, a poluição marinha por hidrocarbonetos, quer operacional, quer accidental, as incidências ambientais sobre os ecossistemas, as convenções internacionais, análise de risco, a prevenção e resposta aos derrames e a monitorização.

São apresentados os resultados da avaliação do destino dos hidrocarbonetos na estação de tratamento de águas residuais da Refinaria do Porto da Petrogal e as eficiência de remoção nas diferentes etapas de tratamento.

Analisa-se a evolução das manchas de hidrocarbonetos derramados no mar, tendo em conta fenómenos físicos, químicos e microbiológicos. Descrevem-se também as técnicas usuais de combate aos hidrocarbonetos derramados, evidenciando as vantagens, inconvenientes e campo específicos de aplicação de cada uma delas.

É apresentada em anexo uma proposta/programa para prevenção e combate à poluição por hidrocarbonetos para S. Tomé e Príncipe, que servirá como contributo importante para um país jovem exposto a situações novas de risco.

Finalmente, em função dos resultados obtidos, são recomendados as técnicas mais adequadas para a redução de poluição.

Palavras- Chave: Poluição, Mar, Derrames, Incidentes, Hidrocarbonetos e Tratamento de Águas Residuais.

COASTAL ZONE PROTECTION AGAINST POLLUTION PROVOKED BY HYDROCARBONS

SUMMARY

The prevention and the fight against marine pollution are an area under current development. Big international disasters or national ones, have shown the urgent need to acquire harbour equipment, in order to fight the pollution that may occur in those more crucial zones such as: the areas of contention, gathering, cleaning and treatment or elimination of residual hydrocarbons originating from disasters. Those alternative actions also concern other dangerous and pollutant products, such as chemical products, and include the formation and the training of specialised people coming from several official departments (Defence, Sea, Internal Administration, and so on).

Oil refineries are among other possible sources of pollution by hydrocarbons. They can affect either the near coastal zones or the soil, due to leaky joints, to damage into the pipe systems, corrosion of the material, malfunction of wastewater treatment plants, and so on.

The models of simulation represent an important tool to predict the evolution of hydrocarbons spots. They also contribute to the improvements of the devices and activities of the national authorities responsible for the monitoring and fighting against pollution.

In this work, we had in mind the *off-shore* exploration and the maritime transport of hydrocarbons, their physical and chemical properties, the marine pollution by hydrocarbons either operational or accidental, the environmental effects on the ecosystems, the international conventions, analysis of risk, the prevention and the answer to spilling and its monitoring.

Results of the evaluation of the hydrocarbons in the Petrogal wastewater treatment plant, and the removal efficiency of hydrocarbons and other organic matter within the different stages of treatment are also presented.

The evolution of hydrocarbon spots spilled in the sea is analysed, bearing in mind physical, chemical and microbiological phenomena. We also describe the usual techniques of fighting against spilled hydrocarbons, showing the advantages, the drawbacks and specific fields of application for each one of them.

It is presented as document, a proposal/program to prevent and minimize the pollution by hydrocarbons to be applied in S. Tomé e Príncipe, which could be an important contribution for a young country exposed to new situations of risk.

Finally, in terms of the results shown, more suitable techniques to reduce the pollution are recommended.

Key Words: Pollution, Sea, Spilling, Disasters, Hydrocarbons, Wastewater treatment.

PROTECTION DES ZONES CÔTIÈRES CONTRE LA POLLUTION PAR HYDROCARBURES

RÉSUMÉ

La prevention et lutte contre la pollution marine est un domaine en train d'être developpé, car les grands désastres internationaux et nationaux montrent le besoin urgent d'acquérir des équipements portuaires pour faire face à la pollution qui puisse se manifester dans les zones considerés plus critiques, dans les zones de contention, recueil, netteté et traitement ou elimination de residus hydrocarbures issus des désastres. Ces actions de prevention s'étendent à d'autres produits dangereux et polluants commes les produits chimiques. Il fait partie de cette action, la formation et l'entrainement du personnel spécialisé originaire de divers departements officiels (Défense, Mer, Administration Interne, etc.).

D'autres souces possibles de pollution par hydrocabures sont les raffineries de pétrole qui pourront affecter les zones côtières proches ou le sol, à cause des fuites de joints, des avaries dans le système de tubage, corrosion du matériel, etc..

Les modèles de simulation representent un instrument important pour prévoir l'évolution des taches d'hydrocarbures, contribuant ainsi pour le perfectionnement du dispositifl et de l'activité des autorités responsables par la surveillance et combat à la pollution.

Dans ce travail, on a consideré l'exploration *off-shore*, le transpot maritime de hydrocarbures, ses propriétés physiques et chimiques, la pollution marine par hydrocarbures, soit elle operationnelle ou accidentale, les incidences de l'environnement sur les écosystèmes, les conventions internationales, l'analyse de risque, la prevention et réponse aux épanchements et la monitorization.

Les resultats de l'évaluation du destin des hydrocarbures dans la station de traitements des eaux residuelles de Petrogal, et aussi les résultats sur l'efficacité de l'élimination des hydrocarbures et autres matières organiques pendant les différents stages de traitement, sont aussi presentés.

On anlyse l'évolution des taches d'hydrocarbures répandues sur la mer en tenant compte des phénomènes physiques, chimiques et microbiologiques. On décrit les techniques usuelles de combat contre les hydrocarbures repandus, en mettant en évidence les avantages, les inconvénients et domaines spécifiques d'application de chacun d'entre elles.

On présent ci – joint une proposition/programme de combat preventif à la pollution de hydrocarbures pour S. Tomé e Príncipe, qui servira comme contribution importante pour un pays jeune exposé à des situations de risque nouvelles.

Finalement, et en fonction des resultats, on conseille les techniques plus convenables pour la reduction de la pollution.

Mots Clés: Pollution, Mer, Épanchements, Désastres, Hydrocarbures, Traitement d'Eaux Résiduelles.

À minha Esposa
Ao meu Filho
Aos meus Pais

Penso que só há um caminho para a ciência
ou para a filosofia:

encontrar um problema, ver a sua beleza e
apaixonar-se por ele, casar e viver feliz
com ele até que a morte no separe – a não
ser que encontrem um outro problema ainda
mais fascinante ou, evidente, a não ser que
obtenham uma solução.

Mas mesmo que obtenham uma solução,
poderão então descobrir para nosso deleite, a existência
de toda uma família de problemas filhos, encantadores
ainda que talvez difíceis, para cujo bem – estar
poderão trabalhar, com um sentido, até ao fim dos
nossos dias.

“Karl Popper”

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, ao Doutor Fernando Francisco Machado Veloso Gomes, Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da FEUP e ao Doutor Rui Alfredo da Rocha Boaventura, Investigador Principal do departamento de Engenharia Química da FEUP, que perspectivaram a ideia desta investigação, pelo estímulo, orientação e apoio que nos concederam para a realização deste trabalho, ao longo destes anos de formação em Engenharia do Ambiente;

Ao Director da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, professor José Carlos Marques dos Santos, pelo importante incentivo e por todas as facilidades concedidas para o meu estágio na Refinaria do Porto no âmbito do Protocolo entre a Faculdade de Engenharia e a Petrogal;

Ao Director do curso de Mestrado Professor Carlos Albino Veiga da Costa, pelo importante papel organizativo para a nossa participação no curso de Mestrado a que presidiu, e para a realização deste trabalho;

A Directora do Serviço de Relações Externas, Eng.^a Branca Gonçalves, por todo o apoio e informações fornecidas, contribuindo assim para o melhor conforto e estadia;

Ao Secretário Geral da Associação das Universidades de Língua Portuguesa, Sr. Manuel Coelho da Silva e todos os membros desta instituição, pela atribuição de uma bolsa de estudo;

Ao ministério da Ciência e Tecnologia – Instituto de Cooperação Científica e Tecnologia Internacional, pelo apreço na atribuição de uma bolsa de estudo para a conclusão da investigação;

Ao ex - Presidente do Conselho de Administração Petróleo de Portugal – Petrogal, S.A. Eng. Manuel Ferreira de Oliveira, por possibilitar todos os meios necessários para consolidar a nossa tarefa;

A todos os Engenheiros e Trabalhadores da Direcção de Ambiente da Refinaria do Porto – Petrogal, pelo apreço e cuidado com que connosco discutiram alguns dos aspectos deste trabalho;

A todos os colegas do curso de Mestrado que foram solidários connosco para um melhor desempenho ao longo do curso;

De um modo geral, a todos aqueles que, ao longo deste processo, contribuíram para a sua realização;

Por fim, em especial, ao meu colega Engenheiro Amadeu, pela compreensão e apoio demonstrado ao longo deste trabalho.

ÍNDICE DO TEXTO

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Gerais	1
1.2 Objectivos	2
1.3 Estrutura e Conteúdo	2
1.4 Metodologia	3

2. OS HIDROCARBONETOS. BREVE ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL

2.1 Descrição dos Tipos de Hidrocarbonetos	5
2.2 O Transporte Marítimo de Hidrocarbonetos	6
2.2.1 Condições de Transporte Marítimo das Mercadorias Embaladas	7
2.2.2 Navios Petroleiros	9
2.2.3 Poluição Marinha por Hidrocarbonetos	11
2.3 Luta Contra a Poluição Provocada pelos Hidrocarbonetos	15
2.3.1 Prevenção Internacional	15
2.3.2 Situação em Portugal	21
2.3.3 Efeitos dos Hidrocarbonetos nos Organismos Marinhos e nos Homens	22
2.3.4 Factores que Alteram Directamente o Impacte Ecológico dos Hidrocarbonetos	28
2.3.5 Impacte dos Hidrocarbonetos nos Ecossistemas	30

3. IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM DERRAME DE HIDROCARBONETOS

3.1 Meios de Detecção de Derrames	35
3.2 Quantificação do Produto Derramado	39
3.3 Processos de Alteração dos Hidrocarbonetos no Seguimento dos Derrames	42
3.4 Alguns Modelos Matemáticos de Análise	53
3.4.1 Modelos Disponíveis na União Europeia	57
3.5 Determinação da Área Máxima de Espalhamento dos Hidrocarbonetos	58
3.6 Comportamento dos Hidrocarbonetos no Litoral	61
3.7 Determinação Expedita da Deriva de um Derrame de Hidrocarbonetos ou de outras Substâncias Perigosas	64

4. RECUPERAÇÃO DE DERRAMES ACIDENTAIS DE HIDROCARBONETOS

4.1 Barreiras	67
4.1.1 Classificação e Características Gerais das Barreiras	68
4.1.2 Tipos de Barreira e suas Principais Características	70
4.1.3 Comportamento das Barreiras	74
4.1.4 Operação das Barreiras	78
4.1.5 Critérios de Selecção das Barreiras	86
4.1.6 Linhas de Orientação para Lançamento das Barreiras	87
4.1.7 Factores Relevantes para Utilização das Barreiras	90
4.2 Recuperadores	90
4.2.1 Considerações Gerais	90
4.2.2 Técnicas de Utilização dos Recuperadores	91
4.2.3 Factores Limitativos dos Recuperadores	108

5. UTILIZAÇÃO DE DISPERSANTES	110
5.1 Efeitos Imediatos dos Dispersantes	111
5.2 Tipos de Dispersantes	111
5.3 Planeamento para a Utilização de Dispersantes	113
5.4 Sistemas de Aplicação de Dispersantes	121
6. TÉCNICAS COMPLEMENTARES DE COMBATE A DERRAMES DE HIDROCARBONETOS	
6.1 Os Absorventes	125
6.1.1 Absorventes a Granel	126
6.1.2 Barreiras Absorventes, Almofadas, Rolos e Placas	128
6.2 Utilização de Produtos Gelificantes	130
6.3 Utilização de Produtos Desemulsificantes	131
6.4 Utilização de Bactérias	132
6.5 Aglutinação	133
6.6 Afundamento	134
6.7 Armazenagem e Transporte de Resíduos de Hidrocarbonetos	135
6.8 Tratamento/Eliminação de Resíduos	139
6.8.1 Métodos de Tratamento/Eliminação “uso de Bactérias”	140
7. DESTINO DOS HIDROCARBONETOS TOTAIS NA ETAR DA REFINARIA DO PORTO	
7.1 Protecção Ambiental	148
7.2 Caracterização das Águas Residuais	148
7.3 Descrição do Sistema Geral de Tratamento	155
7.3.1 Pré - Tratamento	156
7.3.2 Tratamento Físico-Químico	157
7.3.3 Tratamento Biológico por Lamas Activadas de Média Carga	158
7.3.4 Tratamento das Lamas e Óleos	161
7.4 Trabalho Experimental	162
7.4.1 Locais de Amostragem	162
7.4.2 Técnica de Amostragem	162
7.4.3 Método Analítico	163
7.4.4 Resultados Experimentais	163
7.4.5 Discussão de Resultados	166
8. CONCLUSÕES	173
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	177
ANEXO	
PROPOSTA/PROGRAMA DE PREVENÇÃO E COMBATE À POLUIÇÃO POR HIDROCARBONETOS PARA S. TOMÉ E PRÍNCIPE	188

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1- Classes de perigosidade de mercadorias perigosas transportadas sob a forma de granel líquido (Borrego <i>et al.</i> , 1994)	7
Tabela 2.2- Efeitos possíveis em função da percentagem de hidrocarbonetos contidos no ar respirado por homem (Getter <i>et al.</i> , 1984)	26
Tabela 2.3- Efeitos possíveis em função da percentagem de hidrocarbonetos contidos no ar respirado (IPIECA,1980)	27
Tabela 3.1- Taxa de evaporação em alguns dos mais graves acidentes ocorridos com navios-tanques (Office of Technology Assessment 1991, SEEC 1998)	44
Tabela 3.2- Derrames em caso de acidente (Lasserre, 1974)	52
Tabela 3.3- Propriedades dos tipos de hidrocarbonetos utilizados no modelo TransSpill (Koops, 1991)	54
Tabela 3.4- Modelos de simulação desenvolvidos na União Europeia (Costa, 1999)	57
Tabela 3.5- Valores para determinação da espessura de partícula (API, 1982)	60
Tabela 3.6- Elementos de identificação do grau de vulnerabilidade dos diferentes tipos de litoral (D'OZOUVILLE,1981)	63
Tabela 4.1- Posição da barreira em função do ângulo com a direcção da corrente (Concawe, 1981)	75
Tabela 5.1- Considerações sobre o tratamento dos hidrocarbonetos (Canevari, 1969)	114
Tabela 5.2- Taxa de utilização de dispersantes (API, 1985)	115
Tabela 6.1- Opções de tratamento/eliminação para os vários tipos de resíduos de hidrocarbonetos (API, 1986)	147
Tabela 7.1- Características do efluente líquido à entrada e saída de tratamento	150
Tabela 7.2- Concentrações à saída da ETAR e valores limite de emissão	151
Tabela 7.3- Métodos analíticos e equipamentos utilizados nas análises	163
Tabela 7.4 a 7.9- Resultados das análises efectuadas nos diferentes locais de amostragem	163/ /165
Tabela A.1- Velocidade média do vento no Aeroporto/S. Tomé (INM, 1998)	191
Tabela A.2- Estação de Água - Izé/S. Tomé (INM, 1998)	192
Tabela A.3-Equipamento e Técnicas para a recuperação de derrames acidentais de Hidrocarbonetos	203

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1- Efeitos dos hidrocarbonetos sobre a vida marinha (Buchuman, 1996)	25
Figura 3.1- Relação entre o tempo de derrame e percentagem da evaporação para diferentes petróleos (Stiver & Mackay, 1983)	45
Figura 3.2- Solubilidade dos principais componentes de hidrocarbonetos quando derramados (McAuliffe, 1983)	47
Figura 3.3- Processos de envelhecimento dos hidrocarbonetos derramados no mar (Burwood and Speers, 1973)	50
Figura 3.4- Representação esquemática na evolução dos processos de envelhecimento ao longo do tempo (NOAA, 1992)	51
Figura 3.5- Movimento dos hidrocarbonetos em função do vento e da corrente (Concawe, 1983)	64
Figura 4.1- Principais grupos intervenientes após um derrame de petróleo na costa marítima (Concawe, 1981)	66
Figura 4.2- Elemento de construção das barreiras (ITOPF, 1981)	68
Figura 4.3- Comportamento das barreiras em função de vento, ondas e correntes (ITOPF, 1986)	74
Figura 4.4- Escape dos hidrocarbonetos através da barreira (ITOPF, 1986)	77
Figura 4.5- Variação da camada de hidrocarbonetos com a velocidade relativa entre a água e a barreira (ITOPF, 1986)	78
Figura 4.6- Uso de uma barreira no alto mar (API, 1993)	82
Figura 4.7- Uso de barreira em águas profundas com velocidade da corrente muito elevada (Duarte, 1994)	85
Figura 4.8- Sistema de recuperação de hidrocarbonetos no alto mar por meio de navios ou embarcações (ITOPF, 1983)	94
Figura 4.9- Recuperação com sistema de sucção (ITOPF, 1983)	102
Figura 4.10- Recuperador com sistema de separação múltipla (ITOPF, 1983)	105
Figura 4.11- Recuperador com sistema de plano inclinado (ITOPF, 1983)	106
Figura 4.12- Recuperador com sistema hidrociclone (Canevari, 1969)	107
Figura 4.13- Recuperador com bomba de parafuso (ITOPF, 1983)	107
Figura 5.1- Mecanismo de dispersão química (Concawe, 1969)	110
Figura 5.2- Aspectos a considerar na decisão para a aplicação de dispersantes (OCINF- IPIECA, 1981)	118
Figura 5.3- Eficácia dos dispersantes para diferentes viscosidades (Harrison <i>et al.</i> , 1975)	124
Figura 7.1- Diagrama do processo de tratamento	154
Figura 7.2- Evolução das concentrações dos hidrocarbonetos totais	146

ABREVIATURAS MAIS USADAS

IMDG – International Maritime Dangerous Goods

ONU – Organização das Nações Unidas

UE – União Europeia

ITOPF – The International Tanker Owners Pollution Federation Ltd.

OCIMF – Oil Companies International Marine Forum

IGS – Sistema de Gás Inerte

Concawe – The Oil Companies' International Study Group for Conservation of Clean Air and Water – Europe

CEDRE – Centre de Documentation de Recherche et d'expérimentations sur les Pollutions Accidentelles des Eaux

IMO – International Maritime Organization

HC – Hidrocarbonetos

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Gerais

A industrialização mundial trouxe para o transporte marítimo uma enorme quantidade de produtos poluentes que cruzam permanentemente todos os oceanos, constituindo um perigo potencial para o ambiente marinho. De entre essa grande variedade de cargas destacam-se os hidrocarbonetos, os produtos químicos a granel e as substâncias perigosas embaladas (Borrego *et al.*, 1994).

A degradação do meio ambiente é uma das consequências mais discutidas e a mais negativa do desenvolvimento industrial.

O conhecimento das condições do mar e do clima junto da costa constitui um factor de primordial importância para o sucesso das operações a empreender quando a costa é atingida por poluentes, em especial por hidrocarbonetos.

Uma parte da poluição que atinge as costas marítimas é originária na operação dos navios através de lavagens e deslastragens dos tanques, descargas, lavagens das cascas das máquinas e das cavernas dos navios petroleiros. Outro factor que tem levado à poluição resulta dos acidentes marítimos, sendo a maior parte derivada de encalhes.

A experiência em todos os acidentes marítimos, que originaram grandes poluições por hidrocarbonetos no meio marinho, demonstrou que os factores tempo e organização são de primordial importância para a obtenção das maiores possibilidades de êxito na luta contra a poluição resultante deste tipo de acidentes. Por esse facto, uma resposta rápida e eficiente é um factor essencial para a luta que se tenha que empreender.

Para que as operações de prevenção e de combate à poluição se iniciem tão rapidamente quanto possível e se possa desenhar uma estratégia adequada e eficaz (contenção e recolha, protecção das áreas sensíveis, limpeza das costas, aplicação de dispersantes, etc.) de forma a minimizar os efeitos de um derrame, é necessário ter-se conhecimento de um grande número de dados sobre o incidente e, principalmente, sobre o comportamento e evolução aproximada da mancha nas horas subsequentes a um derrame (Concawe, 1983).

Também as águas residuais de refinarias de petróleo lançadas no mar afectam directamente e indirectamente os seres vivos e as plantas, como indivíduos ou como membros de comunidades de organismos, habitando um ambiente particular e interagindo com o ambiente e entre si.

As estações de tratamento de águas residuais constituem elementos fundamentais para minimizar o impacto ambiental no meio marinho dos hidrocarbonetos provenientes das refinarias.

1.2 Objectivos

Esta dissertação tem por objectivo principal abordar, de um ponto de vista estratégico e operacional, o combate à poluição por derrames de hidrocarbonetos de origens tanto acidentais como operacionais. Neste sentido foram desenvolvidos os seguintes estudos:

- ⇒ descrição das fontes fundamentais da poluição marinha, tipo de produtos derramados, origens e causas dos incidentes;
- ⇒ identificação das técnicas de combate à poluição;
- ⇒ análises dos principais processos de transformação dos hidrocarbonetos quando derramados no mar;
- ⇒ eliminação e destino dos hidrocarbonetos presentes nas águas residuais de uma refinaria de petróleo (Refinaria do Porto, Petrogal).

1.3 Estrutura e Conteúdo

No Capítulo 2 é apresentada uma descrição dos tipos de hidrocarbonetos, suas propriedades e classificação por grupo.

São analisados os processos de espalhamento e envelhecimento dos hidrocarbonetos quando derramados no mar e os efeitos ou consequências sobre os seres vivos. São analisadas as fontes de poluição do meio marinho à escala mundial.

Introduzem-se alguns conceitos e estratégias de intervenção, enquadramento legal e situação jurídica das Convenções Internacionais em Portugal e política europeia nesta matéria.

No Capítulo 3 trata-se da identificação e análise da evolução de um derrame de hidrocarbonetos no mar.

Apresentam-se, de forma sucinta, alguns modelos utilizados para representar os processos de envelhecimento e da trajectória da mancha, por forma a prevenir a evolução de derrames de hidrocarbonetos em estuários e na orla costeira.

Nos Capítulos 4, 5 e 6 analisam-se detalhadamente as várias técnicas utilizadas para o combate dos hidrocarbonetos quando são derramados na costa e no alto mar, incluindo o sistema de tratamento/eliminação de resíduos.

Como caso de estudo, no Capítulo 7, apresenta-se a caracterização do sistema de tratamento do efluente líquido da ETAR na Refinaria do Porto, da Petrogal, com objectivo de avaliar a sua eficiência, muito particularmente no que respeita à eliminação de hidrocarbonetos.

No Capítulo 8 apresentam-se as conclusões do trabalho desenvolvido.

Em Anexo apresenta-se uma proposta/programa de prevenção, combate e monitorização em relação à poluição por hidrocarbonetos para S. Tomé e Príncipe. O autor é cidadão deste País onde, recentemente, se descobriram jazidas off-shore de hidrocarbonetos.

1.4 Metodologia

A estratégia a seguir para o desenvolvimento do trabalho passa pela recolha de informação, organização e desenvolvimento de dados relacionados com incidentes de poluição ocorridos no mar, tipos e propriedades físico-químicas dos produtos derramados, descrição de alguns modelos de simulação, processos de identificação e técnicas de combate a poluição marinha.

Efectuou-se recolha de dados na Direcção-Geral de Marinha e Refinaria do Porto-Petrogal. Da informação disponível foram analisados os derrames com hidrocarbonetos, os quais englobam uma gama alargada de produtos, incluindo o petróleo bruto (crude), petróleo refinado, combustível próprio dos navios e lubrificantes, sendo classificados consoante a sua origem, localização e quantidades derramadas, acções de combate tomadas e custos de limpeza e recuperação da costa afectada.

Em termos de tratamento de efluente contaminado por hidrocarbonetos, efectou-se a recolha de amostras em diferentes órgãos de tratamento da ETAR da Refinaria do Porto da Petrogal, procedeu-se as análises de alguns parâmetros para determinar a eficiência do sistema de tratamento e comprovar a biodegradabilidade dos hidrocarbonetos com bactérias aclimatadas.

2. OS HIDROCARBONETOS.

BREVE ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTA

Genericamente o termo “hidrocarbonetos” refere-se a qualquer forma de petróleo, incluindo o petróleo bruto, seus derivados pesados e produtos refinados. O petróleo bruto por sua vez é constituído por misturas complexas de hidrocarbonetos que contêm proporções várias de outras substâncias (oxigénio, azoto, enxofre, vanádio, níquel, sais minerais, etc.).

Os hidrocarbonetos são constituídos por grupos químicos formando as seguintes famílias: as parafinas (hidrocarbonetos saturados da série ácida), os naftalenos (hidrocarbonetos agrupados na família dos cicloalcanos), os aromáticos e compostos de enxofre, resinas e asfaltenos (Concawe, 1981).

2.1 Descrição dos Tipos de Hidrocarbonetos

Os tipos de hidrocarbonetos transportados por via marítima em navios-tanques, constam do Anexo I à Convenção MARPOL 73/78.

O petróleo bruto (crude oil) e os produtos refinados do petróleo são formados por misturas de hidrocarbonetos e outros compostos com propriedades físico-químicas bem diferentes, que determinam quer o seu comportamento e aspecto quando derramados, quer o seu impacto na vida marinha e recursos biológicos.

De acordo com o American Petroleum Institute (1994a) e Concawe (1981), os hidrocarbonetos são classificados nas seguintes categorias:

- ⇒ Hidrocarbonetos voláteis leves: a maioria dos produtos leves, como sejam a gasolina, querosene ou parafina e diesel. Possuem baixa viscosidade, elevada taxa de evaporação e de solubilidade em água, tendência para formar emulsões instáveis e penetração mais rápida na maioria dos substratos.
- ⇒ Hidrocarbonetos moderados a pesados: a maioria dos crudes e produtos intermédios tais como “marine diesel”, gasóleo, fuel-óleo leve e óleo de lubrificação leve. Possuem viscosidade moderada a elevada, sob condições de tempo quente; a evaporação rápida dos voláteis e a dissolução das fracções solúveis darão lugar a um resíduo degradado menos tóxico e com elevada capacidade de afundamento.

- ⇒ Hidrocarbonetos pesados: crudes muito parafínicos, emulsão água/óleo (tipo mousse de chocolate) e óleos de lubrificação pesados. Possuem elevada viscosidade e a sua dispersão é limitada; quando degradados por acção atmosférica, dão lugar à formação de pastas de alcatrão à temperatura ambiente, podendo no entanto liquefazer-se quando expostos ao sol.
- ⇒ Hidrocarbonetos residuais: “bunker” e fuel-óleos pesados, crude degradado e asfaltos. Caracterizam-se por formarem uma pasta de alcatrão à temperatura ambiente e a dispersão ser praticamente nula.

Os produtos anteriormente referidos, ao entrarem no meio marinho não permanecerão na mesma categoria durante um incidente. Ao mudar de estado físico, por evaporação ou degradação, um crude leve perderá os seus compostos mais voláteis, podendo vir a formar uma “mousse” ou transformar-se num óleo pesado.

2.2 O Transporte Marítimo de Hidrocarbonetos

O transporte marítimo de substâncias perigosas é proibido, excepto se for efectuado em conformidade com as disposições estabelecidas. De entre elas destacam-se:

- ⇒ certas substâncias, devido à sua perigosidade para o meio marinho, são limitadas na quantidade a transportar;
- ⇒ as embalagens deverão ser adequadas para minimizar os riscos para o meio marinho, de acordo com o produto específico, marcadas e identificadas de modo indelével de acordo com as Regras das Nações Unidas (Rótulo, N °, etc.);
- ⇒ todos os navios que transportem substâncias perigosas deverão possuir uma lista especial ou manifesto, indicando o tipo de substâncias transportadas e a sua localização a bordo.

A largura do mar territorial português é de cerca de 12 milhas a partir das linhas de base estabelecidas por Lei.

Encontra-se estabelecida uma Zona Económica Exclusiva (ZEE) cujo limite exterior é uma linha em que cada ponto se encontra a uma distância de 200 milha do ponto mais próximo da linha de base a partir da qual se mede a largura do mar territorial português, à excepção das linhas de mediana acordadas com Espanha e Marrocos.

Na Zona Económica Exclusiva, o Estado Português terá em conta as normas do direito internacional, nomeadamente no respeitante à navegação e ao sobrevoo inofensivo das águas em questão e, além de exercer jurisdição, tem direitos soberanos para os fins de prospectar e explorar, conservar e gerir todos os recursos naturais vivos ou não, do fundo do mar e seu subsolo, e das águas suprajacentes e sobre todas as outras actividades que tenham por fim o estudo e exploração económica da zona, tais como a produção de energia a partir da água, das correntes e dos ventos (Borrego *et al.*, 1994)

2.2.1 Condições de Transporte Marítimo das Mercadorias Embaladas

No transporte de produtos químicos embalados, ao longo das costas Europeias, calcula-se que circulam por barco mais de 2000 produtos químicos diferentes, sendo apenas 10% transportado a granel (granel líquido ou sólido) e os restantes 90% em embalagens diversas.

As estatísticas mostram que a maior parte desses produtos transportados pertencem às classes 6.1 (Matérias tóxicas), 3 (Líquidos inflamáveis) e 8 (Corrosivos).

A política económica com base no “stock zero”, das firmas importadoras, levou a grande redução da quantidade de um mesmo produto transportado, aumentando a sua diversidade e concentração. É mais rentável adquirir e transportar um produto o mais concentrado possível, podendo-se fazer a sua diluição no destinatário, sem necessidade de grandes meios técnicos. A Alemanha é o maior produtor mundial de produtos químicos concentrados.

Quanto às mercadorias perigosas transportadas a granel líquido, em tanques, existem cerca de 900 números da ONU diferentes distribuído por 6 classes (Tabela 2.1).

Tabela 2.1-Classes de perigosidade de mercadorias perigosas transportadas sob a forma de granel líquido (Borrego *et al.*, 1994)

CLASSE	MERCADORIAS	QUANTIDADE DE N ^{os} DA ONU
6.1	Produtos Tóxicos	216
3	Líquidos Inflamáveis	413
8	Produtos Corrosivos	174
	Poluentes inferiores a 10% de um Produto P ou 1% de um Produto PP	87
P	Poluente Marinho	72
PP	Poluente Marinho que apresenta grave risco	13

São estas, portanto, os tipos de embalagens que se podem encontrar nas águas marinhas, ou nas praias e nas costas, devido a acidentes e incidentes que envolvam os navios que transportam mercadorias perigosas.

Para que o transporte das mercadorias embaladas se faça com segurança, deve ter-se em conta dois factores determinantes:

- ⇒ o tipo do navio transportador;
- ⇒ as condições de estiva em que foram colocados os volumes embarcados.

Embalagem

Considera-se uma embalagem toda a unidade de carga susceptível de ser carregada/descarregada nos portos.

As mercadorias são, na sua quase totalidade, transportadas dentro de uma vasta gama de embalagens: sacos, tambores, caixas, barris, tanques, frascos, fardos, latas, etc.

Para se poder avaliar o risco associado ao transporte de determinado tipo de mercadoria, torna-se necessário transportar os volumes devidamente identificados. A legislação estabelece normas de etiquetagem para todos os volumes embarcados, como cargas perigosas ou poluentes, o que permite uma rápida identificação de volumes perdidos. Infelizmente os transportadores nem sempre cumprem correctamente a legislação, (Decreto n.º 90/71 de 22 de Março).

A maior parte das mercadorias embaladas circulam presentemente dentro de contentores, onde se agrupam diferentes tipos de embalagens. As exigências económicas do comércio internacional levaram à contentorização das cargas transportadas por via marítima, reduzindo os custos de manuseamento entre o expedidor e o destinatário.

Para se evitar choques e rupturas entre as organizações de transporte, foram elaboradas normas que definem as dimensões, o peso e a resistência dos contentores. Tais normas podem ser encontradas na norma ISO 34 (Internacional Standardization Organization) e na convenção CSC.

A Organização Marítima Internacional (IMO) é o Organismo Mundial (Agência das Nações Unidas) responsável pela instituição de normas internacionais de acção global na forma de Convenções, Códigos, Recomendações e Directivas (Binie and Boyle, 1992).

O Código Internacional para o Transporte de Mercadorias Perigosas define sete tipos de embalagens (Anexo I - Volume I do Código IMDG): tambores, barris em madeiras, latas, caixas, sacos, embalagens compostas e recipientes à pressão.

Por sua vez, de acordo com a perigosidade que as mercadorias apresentam (excluídos os explosivos, os gases e as matérias radioactivas), as embalagens classificam-se em três grupos, com base em características físicas precisas (resistência ao choque, em especial):

- ⇒ Grupo I - Substâncias Muito Perigosas
- ⇒ Grupo II - Substâncias de Perigo Médio
- ⇒ Grupo III - Substâncias Pouco Perigosas

2.2.2 Navios Petroleiros

Os produtos derivados do petróleo bruto contribuem cerca de 2/5 para a energia que se consome e, deste modo, têm sido transportados para distribuição em todo o mundo milhões de toneladas.

O transporte de petróleo entre as áreas de produção, as refinarias e áreas de consumo foi evoluindo ao longo do último século. Hoje em dia corresponde a uma vasta rede de oleodutos (pipelines) e a uma grande frota de navios tanques petroleiros.

Durante muitos anos limitaram-se a transportar uma carga total inferior a 10 000 toneladas, com navios que dispunham de casa das máquinas e dos alojamentos à ré, possuindo adiante vários tanques para reduzirem o movimento da carga líquida devido aos balanços.

O incremento das necessidades industriais e a rentabilização dos custos de operação, levou ao crescimento destes navios. Esta tendência evolutiva acelerou-se, nos anos 60, aquando das crises do Canal Suez.

O crescimento do tamanho dos navios tanques e o aumento do seu número reflectiu-se no aumento do número de acidentes e muito especialmente na quantidade de produtos derramados. A criação de estruturas de casco, nos novos navios tanques petroleiros, em especial nos de grande porte, que em caso de acidente, colisão ou encalhe, evitem o derrame dos produtos contidos no interior dos seus tanques, tem sido objecto de estudos desde longa data.

Assim, os navios tanques da nova geração deverão reunir nos seus projectos características estruturais de tipo geral, e em certa medida operacionais, de modo a que graves acidentes de poluição marítima, provocados por derrames originados pela ruptura dos cascos dos navios não cheguem a acontecer ou se reduzam ao mínimo. São de destacar os navios que dispõem de duplo casco de modo a manter separada a carga do navio da água do mar, através de um espaço vazio entre os dois cascos.

Presentemente, a frota mundial de navios tanques petroleiros encontra-se equipada do seguinte modo (Projecto n.º 13/94, Convenção MARPOL 73/78):

1. Navios tanques petroleiros com tanques laterais de lastro segregado¹.
2. Navios tanques petroleiros com duplo fundo de dois metros de altura e tanques laterais de lastro para balanceamento.
3. Navios tanques petroleiros com duplo fundo de altura igual a 1/15 da boca mais um par de tanques laterais de lastro segregado/separado.
4. Navios tanques petroleiros com duplo fundo de modo a comportar o lastro segregado suficiente.
5. Navios tanques petroleiros de duplo casco com subdivisões longitudinais variáveis.
6. Navios tanques petroleiros com subdivisão dos tanques por pavimento horizontal intermédio.

As seis possibilidades acima apresentadas não esgotam os projectos que os construtores navais têm proposto neste últimos tempos, em especial nos EUA. As principais estruturas aprovadas são as relativas aos navios de duplo casco.

¹ Lastro Segregado: A água de um tanque, que está completamente separado dos sistemas de carga, de hidrocarbonetos e de combustível líquido, e que é exclusivamente usado para lastro ou para lastro e outras cargas que não sejam hidrocarbonetos ou substâncias nocivas, tal como definidas nos Anexos da Convenção MARPOL 73/78.

2.2.3 Poluição Marinha por Hidrocarbonetos

Poluição Operacional

As operações de carga e descarga de hidrocarbonetos, em especial de produtos transportados nos navios petroleiros, são causadoras de grande parte da poluição que afecta o meio marinho, em especial as águas portuárias.

Os terminais petrolíferos e os terminais petroleiros são os locais mais críticos da costa e com maior risco associado a acidentes operacionais (Branco *et al.*, 1994).

Os navios, quando estão atracados em operações de movimentação de hidrocarbonetos, podem originar poluição accidental por via de:

- ⇒ ruptura nas linhas de carga e descarga;
- ⇒ avaria nas válvulas de manobra das canalizações;
- ⇒ derrames provenientes de juntas defeituosas;
- ⇒ derrames provenientes de carga extravasada por fora das escotilhas;
- ⇒ erros na manobra das válvulas de fundo;
- ⇒ derrames provenientes da desunião das mangueiras.

De um modo geral, os derrames devidos às operações com os navios não constituem por si só um incidente de grave poluição, mas pela sua frequência, e em especial, em portos fechados, acabam por constituir um grave problema para o meio marinho local (NOAA, 1992)

Viagens em Lastro

Os navios petroleiros em viagem, quando vazios, têm de conter nos seus tanques lastro suficiente que lhes dê condições náuticas de segurança e navegabilidade.

Até meados dos anos 70 os navios petroleiros descarregavam os hidrocarbonetos nos portos de destino e voltavam aos campos petrolíferos (Golfo México, Golfo Pérsico, etc.) em “viagem de lastro”. Após a descarga, bombeavam água do mar para dentro de uma parte dos tanques, com resíduos do produto descarregado, até estarem em condições de se fazerem no mar em segurança.

No alto mar, lavavam os tanques, despejavam estas águas sujas e quando chegavam ao porto de carga já tinham os tanques lavados para receber nova carga, após a descarga do lastro, que na maior parte dos casos era descarregado nas águas dos portos por ser considerado lastro lavado.

De acordo com a OCINF-IPIECA (1980) o crescimento das dimensões dos navios, o aumento da quantidade de produtos transportados e a produção de maior lastro sujo levou a acabar com tais práticas, pelos seguintes motivos:

1. Foram definidas Áreas Especiais onde, por razões técnicas em relação à geografia oceânica e às condições ecológicas e igualmente ao carácter pertinente da intensidade de tráfego, se constituíram métodos obrigatórios para a prevenção da poluição, no que respeita a imersões operacionais.
2. Tornou-se obrigatório, para navios de certas dimensões, a instalação de “tanques de recolha de resíduos e lastro sujo”, de “tanque de lastro segregado” e a instalação de equipamentos que controlam as misturas oleosas nas águas descarregadas.
3. Procura-se actualmente que os navios nas suas viagens de lastro não descarreguem para o meio marinho qualquer quantidade de hidrocarbonetos que possa originar poluição.

Lavagem de Navios

Actualmente os navios tanques estão equipados com “slop tanks” (tanques para recolha de águas de dreno, águas de lavagem e outras misturas oleosas) onde se processa a decantação das mesmas e a sua limpeza. A descarga para o mar pode fazer-se desde que o efluente não contenha hidrocarbonetos em quantidades superiores a 15 ppm.

Os navios de carga superior a 400 toneladas possuem igualmente tanques de resíduos destinados à recolha dos referidos efluentes de lavagem das cavernas.

Após a chegada a um porto de operação, os navios deverão descarregar para instalações receptoras próprias os resíduos remanescentes nos tanques e que não se separaram, de acordo com os mínimos estipulados. No final, canalizações e bombas são lavadas e as águas de lavagem são drenadas para as referidas instalações.

Imersões

As imersões no mar de resíduos ou outros produtos de qualquer espécie que possam provocar danos ao meio ambiente são regulamentadas pela “Convenção para Prevenção de Poluição Marinha Causada por Operações de Imersão de Detritos e outros Produtos”.

Esta Convenção foi patrocinada pela IMO e entrou em vigor em 29/12/92, conhecida pela Convenção de Londres.

De acordo com esta Convenção:

Imersão significa qualquer vertimento deliberado no mar de detritos ou outros produtos, efectuado por navios, aeronaves, plataformas ou outras estruturas feitas pelo homem no mar.

Imersão não inclui o vertimento no mar de detritos ou outros produtos, quer acidentalmente, quer devido a operação normais dos navios, aeronaves, plataformas ou outras estruturas feitas pelo homem no mar e seus equipamentos, desde que não constituam detritos ou outros produtos transportados por/ou para navios, aeronaves, plataformas ou outras estruturas feitas pelo homem no mar, efectuando operações tendo em vista o vertimento de tais produtos, ou sejam provenientes do tratamento desses detritos ou outros produtos nos mesmos navios, aeronaves, plataformas ou estruturas; depósito de produtos com outros fins além da sua simples eliminação, desde que não sejam incompatíveis com os fins desta Convenção.

O vertimento de resíduos ou outros produtos directamente provenientes ou relacionados com os processos associados à exploração e aproveitamento dos recursos minerais do leito do mar não é coberto pelo articulado da presente Convenção.

A Convenção proíbe a imersão de certas matérias perigosas, obriga a uma autorização prévia para a imersão de um certo número de outras matérias identificadas e permite a imersão de outros resíduos ou matérias (Borrego *et al.*, 1994)

Poluição Acidental

Segundo B. H. Ketchum (1967) os grandes acidentes de poluição, as conhecidas “marés negras”, devem-se a desastres com grandes navios tanques carregados. Encalhes, abalroamentos, explosões, incêndios, água aberta e afundamento são as causas principais que originam grandes derrames de hidrocarbonetos no mar.

Os encalhes constituem os principais factores para grandes desastres. O Torrey Canyon, o Amoco Cadiz, o Exon Valdez e o Braer, provocaram acidentes catastróficos que resultaram do encalhe destes navios. E, se as suas causas tiveram origens diversas, o erro humano foi origem comum a todas elas. Tal factor tem levado os Estados a afastarem as rotas dos navios tanques carregados das suas costas.

Um sistema de “Routeing” (corredores obrigatórios) foi instituído pela IMO, garantindo melhores condições de segurança em certas costas muito frequentadas pelo tráfego marítimo.

A construção de navios com cascos adaptados a novas estruturas de segurança nos tanques de carga-cascos duplo, tanques laterais de lastro, pavimentos intermédios, etc. - procura reduzir a gravidade dos acidentes devidos a encalhes.

As costas portuguesas estão providas de Sistemas de Separação de Tráfego, discutindo-se actualmente algumas rotas, por exemplo, nas proximidades de Sagres.

Os abalroamentos, explosões e incêndios são igualmente causadores de grande número de acidentes de poluição.

Os Estados, em especial através de Organismos Internacionais com a IMO e a UE., procuram reduzir estes acidentes:

- ⇒ Pela melhoria da preparação técnica das tripulações;
- ⇒ Pela introdução de tecnologias de segurança nos equipamentos dos navios e da navegação;
- ⇒ Pelo aumento de meios para preparação e prevenção da luta a poluição (Borrego *et al.*, 1994).

Os alijamento, percas e água aberta são, de um modo geral, os maiores causadores de poluição devido a substâncias sólidas imersas ou perdidas nas águas oceânicas.

Os acidentes devido ao alijamento forçado de volumes no mar constituem perigo de poluição quando tais volumes são portadores de substâncias perigosas ou nocivas.

Não sendo uma poluição com efeito tão espectacular para o ambiente como as marés negras, pode ser de elevada perigosidade para a vida, atingindo inclusive o homem se as referidas substâncias pertencerem a classes de alto risco; isto é, tóxicas explosivas ou radioactivas (Borrego *et al.*, 1994).

2.3 Luta contra a Poluição Provocada pelos Hidrocarbonetos

2.3.1 Prevenção Internacional

A luta contra a poluição marítima por hidrocarbonetos começa pela prevenção, isto é, dar aos interessados na matéria, em especial aos tripulantes dos navios, uma descrição dos métodos que permitam evitar e impedir o despejo, os derrames e as fugas dos hidrocarbonetos para o mar (Ryan and Brown, 1989).

A IMO, como Agência das Nações Unidas especializada para os assuntos marítimos, exerce as funções não só de depositária das Convenções Internacionais para a Prevenção da Poluição Marítima e seu Combate, como também é o Organismo que através do seu Comité de Defesa do Meio Marinho, estabelece a política de regulamentação e actuação nesse sector (OCINF-IPIECA, 1980).

No âmbito das medidas de protecção básica, considerou-se que a maior penetração de hidrocarbonetos no mar pode ter origem nas seguintes fontes (Birnie and Boyle, 1992):

1. campos de exploração petrolífera situados no mar;
2. acidentes marítimos, tais como encalhes, afundamentos e abalroamentos de navios tanques petroleiros ou de outros navios que transportem cargas de hidrocarbonetos e combustível próprio;
3. todos os navios tanques petroleiros que despejem resíduos de combustível líquido e água das cavernas poluídas por hidrocarbonetos;
4. todos os navios tanques petroleiros que despejem hidrocarbonetos resultantes dos métodos de lavagem dos seus tanques e das operações de deslastragem;
5. todos os navios que não sejam navios tanques petroleiros que despejem lastros e as lavagens dos tanques de combustível líquido;
6. todos os terminais que possam originar fugas de produtos durante as operações de carga/descarga e abastecimento de combustíveis aos navios, barcas e embarcações de outros tipos, compreendendo todos os navios atracados num terminal ou amarados a um terminal ao largo;
7. todas as operações de trasfega de hidrocarbonetos dum navio tanque petroleiro para outro, tais como aliviamento ou descarga por intermédio das barcas;
8. todas as fontes de origem terrestre tais como, óleos de lubrificação e outros hidrocarbonetos eliminados;
9. deposição de hidrocarbonetos que se tenham evaporado para a atmosfera.

Actualmente existe legislação suficiente que determina os modos de fazer o controlo de qualquer tipo de poluição marítima originada por navios.

Esse regulamento abarca especialmente as descargas dos hidrocarbonetos de navios tanques, bem como os produtos químicos a granel, detritos sanitários e lixos.

Um dos novos projectos para a melhoria do ambiente marítimo é a construção de “navios ecológicos ou navios verdes” que eliminem as imersões de produtos nocivos.

Estes navios, no seu projecto essencial, têm instalados na casa das máquinas sistemas especiais de redução catalítica dos gases de escape dos motores. Do mesmo modo, incluem a eliminação dos clorofluorcarbonetos (CFC) e dos hidroclorofluorcarbonetos (HCFC) dos sistemas de refrigeração e a substituição dos halogéneos dos sistemas de extinção de fogos por outros gases menos atentórios do meio ambiente. Estão também em estudo novos produtos químicos para a fabricação das tintas dos cascos que dão uma melhor protecção à vida marinha.

A IMO tem sido o organismo que, a nível mundial, mais legislação tem produzido, em especial a partir dos anos 70, com o objectivo de reduzir a poluição.

A primeira Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição das Águas do Mar por hidrocarbonetos foi realizada em Londres em 1954, o qual ficou designada por OILPOL 1954. Essa Convenção tinha como finalidade básica limitar as descargas de hidrocarbonetos no mar, provenientes em especial dos navios tanques.

A OILPOL acabou por ser substituída pela Convenção MARPOL, em 1973, mais tarde alargada pelo Protocolo de 1978 e hoje internacionalmente conhecida como MARPOL 73/78.

A maioria das condições técnicas regulamentadas na MARPOL 1973 estão incluídas em cinco Anexos à convenção, os quais acordam respectivamente os seguintes aspectos relacionados com o transporte marítimo:

1. Anexo I: Hidrocarbonetos
2. Anexo II: Substâncias Líquidas transportadas a granel (químicas)
3. Anexo III: Substâncias Nocivas transportadas em Embalagens (tambores e contentores)
4. Anexo IV: Esgotos Sanitários
5. Anexo V: Lixo (detritos e resíduos)

Ao longo dos anos têm vindo a ser introduzidas várias emendas à Convenção MARPOL 78/78 para melhorar a prevenção accidental por hidrocarbonetos derramados dos navios. Duas dessas emendas importantes entraram em vigor em 1994. Uma é a Regra 13F que se aplica a todos os navios tanques com capacidade de 600 d.w.t. ou superior, cujo contrato de construção foi assinado depois de 6 de Julho 1993, as suas quilhas sejam assentes depois de 6 de Janeiro de 1994 ou entregues depois de 6 de Julho de 1996. Na mesma Regra estipula-se que os navios tanques de 5 000 d.w.t. ou acima, devem ser construídos com cascos que contenham tanques laterais e duplo fundo ou espaço instalado ao longo do fundo lateral do navio. Esta Regra permite também que se construam navios tanques com pavimento horizontal intermédio com casco duplo lateral, cujos projectos estão a ser desenvolvidos por estaleiros japoneses e europeus, como alternativa aos projectos de navios de casco duplo. A Regra aprova que outros métodos de construção para navios tanques possam ser aceites em alternativa aos requisitos que nela se determinam desde que esses métodos garantam o mesmo nível de protecção da poluição por hidrocarbonetos em caso de abalroamento ou de encalhe.

Os novos projectos terão que ser aprovados em princípio pelo Comité de Protecção Marítima da IMO, de acordo com as directivas emanadas desta organização.

No caso dos navios tanques compreendidos entre 600 d.w.t. e 5 000 d.w.t., deverão ser constituídos com tanques de duplo fundo e a capacidade de cada tanque de carga ficará limitada a 700 m³. Esta estrutura deixará de ser exigida se o navio for constituído com casco duplo.

Outra emenda importante é a regra 13 G., que contém normas para serem aplicadas aos navios tanques de 20 000 d.w.t. ou mais, destinados ao transporte de petróleo bruto e aos navios de 30 000 d.w.t. ou acima, destinados a outros produtos petrolíferos refinados. Essa Regra entrou em vigor em 6 de Julho de 1995 e estabelece medidas para um programa sobre inspecções e vistorias a serem implementadas, especialmente para navios que tenham mais de cinco anos.

Com excepção dos navios que foram já construídos com casco duplo, todos os navios que foram construídos de acordo com as normas da MARPOL, devem ser complementados com as disposições requeridas pela Regra 13F, mas em data nunca para além de 36 anos após a entrega.

Os navios tanques construídos antes do estabelecimento das normas MARPOL, devem ter, antes de atingirem 25 anos após a sua entrega, protecção lateral (tanques laterais) ou do fundo (duplo fundo) que cubra pelo menos 30% do comprimento da área de carga.

A Regra 13G também admite, como aceitação no futuro, outros projectos para a estrutura dos navios tanques, tais como, tanques hidrostáticos balanceiros, em alternativa às medidas que a regra propõe.

Outro ponto importante para a prevenção da poluição marítima é o que se refere à redução da quantidade de produtos lançada no mar, resultante das operações de rotina. Essa redução está drasticamente reduzida através da emenda ao Anexo I da MARPOL 73/78, que entrou em vigor em 6 de Julho de 1998.

A redução prevista destina-se a descargas de resíduos de hidrocarbonetos resultantes das operações de lavagem dos tanques de carga e das cavernas da casa da máquina, em navios tanques de 400 t de arqueação ou acima. Estes navios ficarão proibidos de descarregar esses resíduos, se contiverem concentrações de hidrocarbonetos superiores a 100 ppm, nas Áreas Especiais que a MARPOL define e no interior da faixa das 12 milhas a partir da linha de costas.

As emendas reduzem o conteúdo de 100 ppm para 15 ppm, uma quantidade que na prática não causam efeitos nocivos sobre os organismos marinhos. Esta nova disposição aplicar-se-á de imediato a todos os navios construídos depois de 6 de Julho de 1993 e concede uma derrogação para todos os navios existentes até à data de 6 de Julho de 1998.

Entretanto, a dita norma em vigor, permite que os navios tanques descarreguem resíduos de hidrocarbonetos fora das Áreas Especiais, à média de 60 litros por cada milha náutica, quando sigam em viagem normal, mas vai ser emendada para a média de 30 litros por milha.

No respeitante à prevenção da poluição marítima, proveniente de substância líquidas nocivas, o Anexo II, que entrou em vigor em 1987, regulamenta as normas para o transporte dessas substâncias e a disposição das operações de transporte.

Por sua vez, o Anexo III, que entrou em vigor em 01 de Julho de 1993, regulamenta a prevenção da poluição marítima por substâncias nocivas transportadas a granel.

Actualmente, existem cerca de 600 substâncias classificadas como “poluentes marítimos” cujos requisitos detalhados para o seu transporte estão explicitados e incorporados no Código Internacional Marítimo das Mercadorias Perigosas (IMDGC), já em vigor.

O único Anexo da MARPOL 73/78 que ainda não entrou em vigor é o Anexo IV - Prevenção da Poluição devido aos Esgotos Sanitários dos Navios. Mas o facto deste Anexo ainda não ter entrado em vigor não constitui impedimento para que vários países já tenham aprovado regulamentação própria referente à instalação a bordo de estações de tratamento dos esgotos. Os EUA, por exemplo, desde 1978, que exigem unilateralmente que os navios, que demandam os seus portos, sejam equipados com instalações de tratamento de esgotos sanitários.

As regras contra a poluição completam-se com o Anexo V da MARPOL, referente a prevenção da poluição marítima por lixo dos navios, o qual entrou em vigor no final de 1988. Tal Anexo estipula uma total proibição ao despejo de lixos, à base de materiais plásticos, no mar.

Mas se estas normas constituem o esqueleto base das medidas para a prevenção da poluição marítima, elas só poderão alcançar os objectivos preconizados se forem acompanhadas de medidas implementadoras e mais eficazes de fiscalização e penalização (American Petroleum Institute, 1994b).

Em resumo, a prevenção, controlo e luta contra a poluição marítima à escala mundial, em todos os oceanos, pode ser dividida em quatro vectores fundamentais:

1º - Acção da IMO

São cinco as convenções básicas da IMO destinadas à Segurança Marítima e à Luta Contra a Poluição que já estão em vigor:

- ⇒ Convenção Internacional sobre as Linhas de Cargas em 1966 e Protocolo de 1988 (LL);
- ⇒ Convenção sobre o Regulamento Internacional para evitar o Abalroamento do Mar, 1972 (COLREG);
- ⇒ Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios, 1973 e Protocolo de 1978 (MARPOL);
- ⇒ Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar, 1974 (SOLAS);

- ⇒ Convenção Internacional Sobre Normas de Formação, Certificação e de Serviço de Quartos para os Marítimos, 1978 (STCW).

A regulamentação publicada tem sido realmente aceite pela maioria dos países e a maior parte dos navios que fazem viagens internacionais estão abrigados por ela.

2º - Acção da Comunidade Europeia

A Comunidade Europeia tem acompanhado a legislação orientadora da IMO nas suas directivas de segurança marítima. Depois da publicação do documento “Uma Política Comum para a Segurança dos Mares”, aprovado em Junho de 1993, tem sido desenvolvida uma maior actividade no âmbito da prevenção da poluição:

- ⇒ Directiva 93/75/CE relativa às condições mínimas exigidas aos navios com destino aos portos marítimos da comunidade ou que deles saiam transportando mercadorias perigosas ou poluentes
- ⇒ Uma proposta para uma Directiva sobre as Sociedades de Classificação.
- ⇒ Uma proposta para uma Directiva sobre os requisitos para a formação mínima dos tripulantes.
- ⇒ Uma proposta para uma Directiva destinada a implementar a Resolução A. 747 da IMO, sobre os tanques de lastro segregado.
- ⇒ Uma proposta para uma Directiva que obriga a informação pelos navios que transportem cargas perigosas nocivas.
- ⇒ Uma proposta para uma Directiva que reforce a aplicação do “Port State Control”.
(Commission of the European Communities, 1993)

3º - Acção dos Estados que Embandeiram Navios

Os Estados que dão a sua bandeira aos navios são responsáveis pela emissão do certificados para navios e tripulantes e garantem que esses navios naveguem de acordo com as exigências das regulamentações implementadas pela IMO, logo que as aceitam e ratificam.

4º - Acção dos Estados Portuários

Os Estados Portuários têm a obrigação de vistoriar os navios que escalam os seus Portos, de modo a verificarem se estão de acordo com as determinações da IMO e, do mesmo modo, garantir que as deficiências, as falhas e as avarias sejam prontamente eliminadas e reparadas.

2.3.2 Situação em Portugal

Nas águas portuguesas têm-se registado nos últimos anos graves incidentes de poluição marítima com origem em navios (IH, 1990).

Pela passagem nas águas portuguesas de grande linhas de tráfego de navios, em especial de navios tanques navegando para o Mediterrâneo, Norte da Europa, África e para as Américas, supõe-se que o risco é frequente, se considerarmos as largas centenas de navios que diariamente as sulcam (Borrego *et al.*, 1994).

Por este motivo o governo português criou uma Estratégia para Promover o combate à Poluição Marítima em que se destaca:

- i. O acordo de cooperação para a protecção das costas e águas do Atlântico nordeste contra a poluição (Acordo de Lisboa, Outubro de 1990).
- ii. O programa ENVIREG (Outubro de 1990 a Dezembro de 1993), referente ao Anexo IV da MARPOL 73/78.
- iii. O plano de mar limpo (1993), Anexo V da MARPOL 73/78.

A EUROCOAST-Portugal elaborou as seguintes recomendações para a redução dos riscos potenciais e consequências do tráfego e de acidentes associados ao transporte marítimo de hidrocarbonetos e produtos químicos (Gomes, 1996):

a) Medidas Preventivas

- melhoria das exigências de segurança a bordo; reforço da cooperação internacional e uniformidade de legislação a nível de todas as bandeiras (incluindo as bandeiras de “conveniência”);
- melhoria das exigência de segurança a bordo;
- reforço das inspecções a bordo;
- melhoria das condições de apoio à navegação e das instalações portuárias;
- estrito controlo das operações de estiva pelas autoridades marítimas;
- restrições severas à navegação de petroleiros antigos;
- restrições de rota e de dimensão dos navios;
- qualificação e experiência das tripulações;
- monitorização em tempo real; controlo por detecção remota;

- estabelecimento de acordos de cooperação técnica e operacional entre autoridades de países vizinhos para situações de prevenção e de emergência em caso de acidentes;
- áreas de segurança, com restrições em termos de ordenamento territorial, à volta de instalações portuárias terrestres críticas (pipelines, refinarias, parques de armazenamento);
- zonamento de áreas vulneráveis e quantificação de riscos;
- plano de contingência; organização operacional; definição de tarefas;
- equipamento de combate adequadamente dimensionado;
- informação e treino na prevenção e combate a acidentes.

b) Medidas curativas

- exaustiva notificação e descrição de acidentes e anomalias;
- capacidade de resposta organizacional;
- monitorização em tempo real do acidente e condições meteorológicas;
- acessibilidade e previsões meteorológicas locais;
- medidas de controlo e de mitigação;
- técnicas de limpeza e recolha no mar e na linha de costa;
- adequação dos locais e dispositivos para recolha de produtos;
- avaliação global dos impactes;
- penalização dos responsáveis;
- política de seguros e indemnizações.

2.3.3 Efeitos dos Hidrocarbonetos nos Organismos Marinhos e nos Homens

A. Efeitos nos Organismos Marinhos

Branco (1994) refere que os hidrocarbonetos afectam directamente e indirectamente os seres vivos e as plantas, como indivíduos ou como membros de comunidades de organismos, habitando um ambiente particular e interagindo com o ambiente e entre si.

Interferência física com locomoção, alimentação ou outro comportamento	As partículas dispersas dos hidrocarbonetos na água podem causar obstrução de alguns órgãos como as guelras, etc.. Se os mecanismos de filtragem dos alimentos são afectados, o animal será incapaz de obter o seu próprio alimento podendo também ingerir alguma quantidade de hidrocarbonetos, o que poderá causar um efeito tóxico. Se as guelras forem afectadas, o organismo será incapaz de obter oxigénio e alguns hidrocarbonetos solúveis na água poderão entrar na corrente sanguínea.
Mau gosto por acumulação de hidrocarbonetos	A incorporação de quantidades mínimas de hidrocarbonetos nos tecidos dos organismos vivos marinhos podem afectar os predadores que comam os organismos contaminados. Os predadores podem ingerir suficientes quantidades de hidrocarbonetos por forma a causar-lhes sintomas tóxicos, ou, no caso do homem, pode ser detectado um desagradável ou inaceitável mau gosto nos peixes ou nos mariscos quando comidos, o que pode causar perdas económicas apreciáveis na sua comercialização (IOSC, 1983).
Asfixia e, em certas condições, “stress” térmico	
Abafamento ou revestimento directo	De acordo com o Willians <i>et al.</i> (1975) há efeitos indirectos que resultam de alterações nas funções e na estrutura das comunidades biológicas e incluem: - Diminuição de organismos no seguimento da eliminação selectiva pelos hidrocarbonetos de certas espécies ou grupos funcionais de organismos que constituem o alimento de outro. - Proliferação incontrolada de organismos no seguimento da eliminação selectiva pelos hidrocarbonetos de certas espécies ou grupos funcionais de organismos que são predadores de outros. Impactes sub-letais na fisiologia, crescimento, comportamento e reprodução de espécies-chaves. As aves, plantas de sapais, o biota das rochas costeiras e mamíferos marinhos, podem ficar revestidos de hidrocarbonetos, especialmente a seguir de um grande derrame de pesados. Os hidrocarbonetos leves raramente aderem suficientemente por forma a provocarem abafamento. Se o substrato for seco a aderência é aumentada. Os materiais que são naturalmente oleosos, tais como as penas das aves marinhas, atraem rapidamente os hidrocarbonetos (ITOPF, 1987).

Na figura 2.1 apresentam-se os efeitos estimados para hidrocarbonetos sobre a vida marinha (Buchuman, 1996).

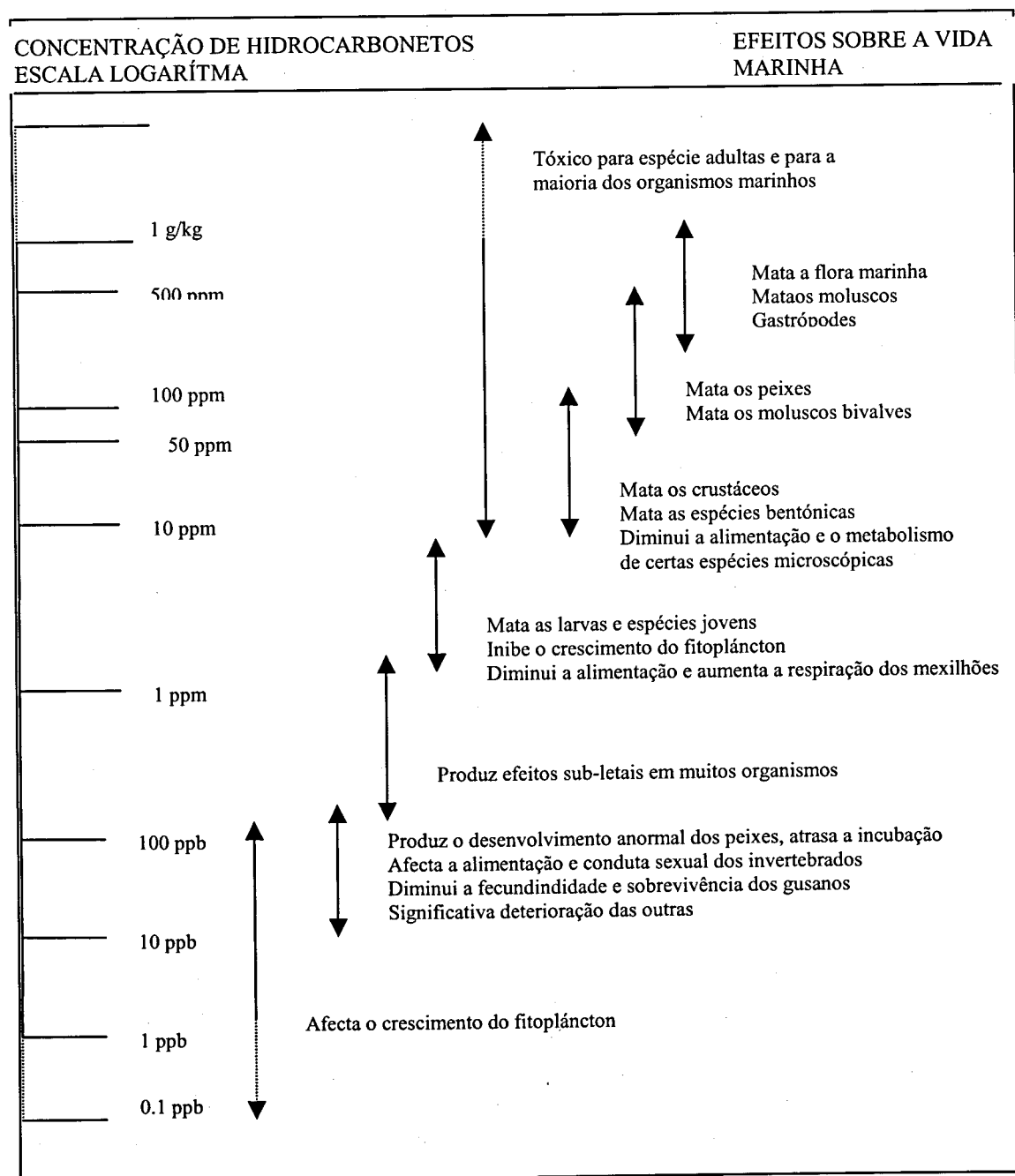


Figura 2.1 – Efeitos dos hidrocarbonetos sobre a vida marinha (Buchuman, 1996)
(ppb = partes por bilião; ppm = partes por milhão)

B. Efeitos no Homem

Nas actividades de combate à poluição no mar ou ao ar livre os efeitos tóxicos do petróleo bruto são relativamente pouco importantes. Todavia, no caso de trabalho em espaço fechado (trasfega a bordo, etc.) já os efeitos são de considerar, em especial se o petróleo bruto (mistura de hidrocarbonetos) contém outras substâncias, em particular o sulfureto de hidrogénio.

A acção dos hidrocarbonetos sobre o organismo humano em espaços fechados processa-se de três maneiras:

a) Por Inalação de Gases

Na tabela 2.2 estão resumidos os principais efeitos dos hidrocarbonetos inalados pelo homem.

Tabela 2.2-Efeitos possíveis em função da percentagem de hidrocarbonetos contidos no ar respirado por homem (Getter *et al.*, 1984).

CONCENTAÇÃO			DURAÇÃO	OBSERVAÇÃO
% GÁS	ppm	LEL (*)		
0.016 a 0.027	160 a 270	2% a 3%	8 horas	Irritação muito ligeira dos olhos e garganta.
0.05	500	5%	1 hora	Sem reacção significativa
0.09	900	10%	1 hora	Ligeira reacção dos olhos, garganta e nariz. Ligeira sensação de “moleza”.
0.2	2 000	20%	1 hora	Sintomas de anestesia aparecendo ao fim de 30 minutos.
1	10 000	100%	10 min.	Irritação de garganta e do nariz ao fim de 2 minutos. “Moleza” ao fim de 4 minutos. Sintoma de embriaguez depois de 4 a 10 minutos. PERIGO COMA

(*) LEL-Limite Inferior de Inflamabilidade (100 LEL=1% de gás)

Os efeitos são reversíveis se o indivíduo for tratado a tempo.

Em princípio os hidrocarbonetos não produzem efeitos a longo prazo, com excepção do benzeno.

Pode haver, no entanto, efeitos a longo prazo por condições associadas à presença de hidrocarbonetos, ausência de oxigénio ou presença do sulfureto de hidrogénio (H_2S):

A maior parte das ramas contém sulfureto que atinge mais do que 3% em certos petróleos do Médio-Oriente. Há um certo perigo na inalação deste gás, que é incolor e com cheiro a ovos podres (o que não é critério para detectar a sua presença dado que a sua presença em concentrações muito elevadas pode paralisar o olfacto). A inalação de vapores deste gás provoca danos no cérebro e nos rins.

Tabela 2.3-Efeitos possíveis em função da percentagem de hidrocarbonetos contidos no ar respirado (IPIECA, 1980)

CONCENTRAÇÃO		DURAÇÃO	OBSERVAÇÕES
% GÁS	ppm		
0.005 a 0.01	50 a 100	1 hora	Irritação dos olhos, nariz, garganta e brônquios. Uma inalação prolongada, à concentração na ordem de 100 ppm, pode conduzir à morte entre 4 e 48 horas.
0.02 a 0.03	200 a 300	1 hora	Irritação variável dos olhos, nariz, garganta e brônquios. Uma exposição longa não é tolerável.
0.05 a 0.07	500 a 700	½ a 1 hora	Uma inalação prolongada, à concentração na ordem de 700 ppm, pode conduzir à morte por asfixia.
0.07 a 0.09	700 a 900	Alguns minutos a ½ hora	Uma inalação em curto tempo, à concentração na ordem de 900 ppm, pode conduzir à morte rapidamente
0.1 a 0.2	1 000 a 2 000	Alguns minutos	Morte imediata.

b) Por Contacto Cutâneo

Efeitos a Curto prazo: Os hidrocarbonetos secam a pele e podem provocar dermatoses.

Podem provocar eczemas por obstrução dos poros.

Efeitos a Longo Prazo: Os hidrocarbonetos pesados, em particular os hidrocarbonetos aromáticos, podem provocar o cancro da pele no seguimento de um contacto prolongado (IPIECA, 1980).

Estes produtos atacam a borracha, a qual não assegura uma protecção eficaz.

Repetidas exposições a fracas concentrações podem provocar irritações nos olhos. Contudo o produto não é acumulável no corpo pelo que não são de considerar efeitos a longo prazo.

c) Por Ingestão Acidental

Em caso de ingestão acidental, é necessário a intervenção médica.

Não se deve fazer vomitar o paciente a fim de evitar o risco de penetração dos hidrocarbonetos nos pulmões e brônquios.

2.3.4 Factores que Alteram Directamente o Impacte Ecológico dos Hidrocarbonetos

Factores Sazonais

A possibilidade de um derrame de hidrocarbonetos provocar danos biológicos, ou seja, um impacte ecológico, é substancialmente dependente de factores sazonais. Muitas espécies de organismos marinhos são mais sensíveis à poluição durante os seus períodos de incubação ou de desova, sendo os ovos e as larvas normalmente mais sensíveis do que os adultos. As aves marinhas juntam-se em certos locais durante a estação de nidificação, em número muito elevado, tornando-os especialmente vulneráveis mesmo no caso de um pequeno derrame durante aquela época. Os padrões de migração das aves influenciam também o número de aves presentes, especialmente em áreas lodosas onde estas espécies migratórias se abrigam e alimentam (Buchuman, 1996).

Duração da Exposição

Em baixos níveis de poluição, quando os efeitos sub-letais e acumulativos se tornam importantes, quanto maior for a exposição das comunidades à poluição maior será a mortalidade total. A presença continuada dos hidrocarbonetos inibe também a recolonização por plantas e animais de litorais vizinhos e atrasa a recuperação do ecossistema atingido (IMO, 1985).

Forma ou Estado Físico dos Hidrocarbonetos

Segundo NRC (1992), se os hidrocarbonetos permanecem na forma de uma camada sobre o mar, o seu impacte principal será sobre as aves marinhas e sobre os organismos flutuantes ou situados imediatamente abaixo da superfície das águas. Se a camada atingir a linha da costa, o seu primeiro impacte será exercido sobre os organismos que vivem na zona entre marés.

Como os hidrocarbonetos se tornam fragmentados e dispersos, a zona de impacte estender-se-á até à coluna de água onde as gotículas são susceptíveis de ser assimiladas por organismos de filtragem/alimento.

Se formar uma emulsão água-no-óleo (“mousse de chocolate”) o volume total do poluente pode aumentar até cerca de quatro vezes; a “mousse de chocolate” gerada é também muito mais aderente e viscosa do que os hidrocarbonetos a partir dos quais se formou e exercerá um impacte sobre o meio marinho durante um longo período de tempo.

Em águas pouco profundas, parte dos hidrocarbonetos têm maior possibilidade de se afundarem, devido à presença de partículas em suspensão, ocasionando a transferência de parte do impacte para as comunidades biológicas do fundo do mar.

Se, subsequentemente, os hidrocarbonetos ficarem incorporados nos sedimentos do leito do mar, o seu impacte principal será nos organismos bênticos.

A fracção solúvel na água presente em todos os “crudes” e em alguns produtos refinados é geralmente tóxica e o seu impacte será exercido principalmente em áreas do mar semi-fechadas ou confinadas, onde não se verifica a adequada diluição (Ryan *et al.*, 1989).

Concentração de Hidrocarbonetos na Água e Sedimentos

De acordo com NAOO (1996), a concentração de hidrocarbonetos em forma de gotículas ou como fracção solúvel na água ou nos sedimentos influenciará significativamente o grau de mortalidade.

Existe uma estreita relação entre a concentração de hidrocarbonetos e o tempo de sobrevivência dos organismos vivos expostos a tais concentrações (Figura 2.1).

Grau de Contaminação de Organismos e Substrato

Para além da concentração de hidrocarbonetos na água ou nos sedimentos, os próprios organismos ou o próprio substrato em que se movem ou alimentam, por exemplo as superfícies das rochas, algas ou grãos de areia, podem tornar-se contaminados. O grau de contaminação determinará até que medida os organismos ficam inibidos de se mover ou alimentar e influenciará a quantidade de hidrocarbonetos serão absorvidos ou ingeridos pelos organismos (Concawe, 1981)

Presença de outros Poluentes

Outros poluentes, por exemplo descargas de resíduos industriais, aumentarão as pressões ambientais às quais todos os organismos vivos estão naturalmente expostos. Na presença de tais poluentes, certos organismos e comunidades biológicas tornar-se-ão mais sensíveis à presença de hidrocarbonetos e, na sequência de um derrame, será causada uma maior instabilidade (Cozzarelli *et al*, 1970).

2.3.5 Impacte dos Hidrocarbonetos nos Ecossistemas

Tendo em conta as características do meio hídricos e os diversos tipos de hidrocarbonetos, podem observar-se os seguintes impactes:

Costas Expostas de Rochas e Penedos (IPIECA, 1979).

- ☐ Hidrocarbonetos leves: serão rapidamente dispersos com pequeno impacte, a menos que confinados em quantidades insignificativas numa área localizada, onde é possível a ocorrência de uma maior mortalidade de organismos.

- ⇒ Hidrocarbonetos moderados a pesados: uma pequena quantidade causará um pequeno impacte enquanto que um derrame maior provocará mortalidade de cracas, lapas, mexilhões, moluscos, equinodermes e crustáceos. As algas podem ser afectadas temporariamente mas recuperarão rapidamente.
- ⇒ Hidrocarbonetos Pesados: inicialmente causarão menor mortalidade do que os hidrocarbonetos moderados a pesados, mas terão impacte similar em áreas localizadas durante um longo período de tempo, especialmente se os hidrocarbonetos permanecerem em fendas.
- ⇒ Hidrocarbonetos Residuais: os hidrocarbonetos residuais aderentes eliminarão muitos organismos por asfixia. Os asfálticos não aderentes ou pedaços de alcatrão terão um impacte desprezável.

Águas Costeiras Abertas - Coluna de Água (API, 1994b)

- ⇒ Hidrocarbonetos Leves: impacte insignificante; volatilizam-se rapidamente e dispersam-se por processos naturais. Contudo, em áreas pouco profundas da plataforma continental, o favorecimento da dispersão natural pela aplicação de produtos dispersantes pode causar danos nos organismos que vivem no leito do mar.
- ⇒ Hidrocarbonetos Moderados a Pesados: impacte ligeiro em organismos perto da superfície; não é conhecido o impacte em organismos na coluna de água; impacte severo em algumas espécies de aves marinhas.
- ⇒ Hidrocarbonetos Pesados: impacte ligeiro em organismos perto da superfície; não é conhecido o impacte em organismos na coluna de água; impacte severo em algumas espécies de aves marinhas, dependendo da época e do local.
- ⇒ Hidrocarbonetos Residuais: não é conhecido impacte em organismos perto da superfície ou na coluna de água; impacte severo em algumas espécies de aves marinhas.

Praias de Areia (IPIECA, 1979).

- ⇒ Hidrocarbonetos Leves: impacte menor mas provavelmente grave nos casos em que a aderência dos hidrocarbonetos à areia aumenta a exposição da fauna às fracções tóxicas.
- ⇒ Hidrocarbonetos Moderados a Pesados: uma grande poluição eliminará a maior parte da fauna que habita na areia. Uma pequena poluição terá um efeito menor. O impacte será mais severo na parte inferior da zona inter-marés e no baixo litoral onde os hidrocarbonetos se podem acumular ou na zona de rebentação acima da linha de preia-mar em consequência de ventos fortes.

- ⇒ Hidrocarbonetos Pesados: uma grande poluição eliminará a maior parte da fauna que habita na areia. Uma pequena poluição terá um efeito menor. Os impactes nos níveis de baixa e preia-mar são similares aos dos hidrocarbonetos moderados e pesados.
- ⇒ Hidrocarbonetos Residuais: não penetrarão na areia, pelo que o impacto não será grave. O maior impacto dos hidrocarbonetos residuais aderentes verifica-se geralmente na vegetação marinha acima da marca superior da preia-mar, nas praias de areia e na zona inferior onde misturas de hidrocarbonetos/areia se acumulam por afundamento.

Superfícies Planas de Areia Expostas à Acção das Marés (Burwood *et al.*, 1973)

- ⇒ Hidrocarbonetos Leves: impacto menor excepto nas superfícies planas de ervas marinhas.
- ⇒ Hidrocarbonetos Moderados a Pesados: impacto menor excepto no caso de um grande derrame, o qual poderá causar mortalidade da fauna que habita na areia e destruição de camadas de ervas marinhas.
- ⇒ Hidrocarbonetos Pesados: os hidrocarbonetos espalhados na maré baixa são susceptíveis de causar mortalidade de fauna e destruição das ervas marinhas.
- ⇒ Hidrocarbonetos Residuais: os hidrocarbonetos residuais aderentes provavelmente absorvem a areia e mantêm-se no leito do mar causando mortalidade localizada. Pedacos de alcatrão não aderentes têm um efeito desprezável.

Fundos na Zona de Marés em Águas Costeiras (API, 1994b)

- ⇒ Hidrocarbonetos Leves: impacto insignificante.
- ⇒ Hidrocarbonetos Moderados a Pesados: no caso de uma grande poluição atingir o fundo do mar, por afundamento ou dispersão, será eliminada uma parte da fauna, diminuindo com a profundidade, mas aumentando com a quantidade de hidrocarbonetos que tenham sido incorporados nos sedimentos.
- ⇒ Hidrocarbonetos Pesados: impacto similar ao dos hidrocarbonetos moderados a pesados.
- ⇒ Hidrocarbonetos Residuais: os hidrocarbonetos residuais aderentes terão um impacto similar ao dos hidrocarbonetos moderados a pesados e pesados; os hidrocarbonetos não aderentes e pedacos de alcatrão exercem um impacto desprezável nos organismos marinhos mas permanecem no fundo mar por longos períodos.

Praias de Seixo e Cascalho (API, 1994b)

- ⇒ Hidrocarbonetos Leves: impacte desprezável nas praias expostas à ondulação; efeitos temporários nas praias abrigadas.
- ⇒ Hidrocarbonetos Moderados a Pesados: no caso de uma grande poluição atingir o fundo do mar, por afundamento ou dispersão, será eliminada uma parte da fauna, diminuindo com a profundidade, mas aumentando com a quantidade de hidrocarbonetos que tenham sido incorporados nos sedimentos.
- ⇒ Hidrocarbonetos Pesados: os hidrocarbonetos que penetram na praia poderão persistir durante anos, afectando a fauna e flora marinhas, em especial nos níveis inferiores e superiores das marés.
- ⇒ Hidrocarbonetos Residuais: os hidrocarbonetos aderentes têm um impacte similar ao dos hidrocarbonetos pesados; os hidrocarbonetos não-aderentes e pedaços de alcatrão têm um impacte biológico menor.

Costas Rochosas Abrigadas (API, 1994b)

- ⇒ Hidrocarbonetos Leves: pequenas quantidades causarão um impacte reduzido se rapidamente dispersos ou volatilizados; grandes quantidades são susceptíveis de causar mortalidade maciça como resultado de elevadas concentrações de fracções tóxicas localizadas.
- ⇒ Hidrocarbonetos Moderados a Pesados: uma pequena poluição apenas causará um impacte moderado; um grande derrame conduzirá a uma grande mortalidade de cracas, lapas, mexilhões, moluscos gastrópodes, equinodermes, crustáceos e outros organismos; as algas podem igualmente desaparecer mas podem recuperar rapidamente.
- ⇒ Hidrocarbonetos Pesados: inicialmente causarão menor mortalidade do que os leves e moderados a pesados mas persistirão no ambiente durante longo período de tempo, causando danos localizados às espécies sensíveis.
- ⇒ Hidrocarbonetos Residuais: os hidrocarbonetos residuais aderentes eliminarão muitos organismos e a recuperação das áreas afectadas será lenta. Os hidrocarbonetos asfálticos não aderentes ou pedaços de alcatrão não têm um impacte desprezável.

Superfícies Planas Abrigadas, de Areia ou Lodo (Miller *et al.*, 1991)

- ⇒ Hidrocarbonetos Leves: ainda que não se disponha de dados após derrames parece serem causa de mortalidade dispersa.

- ⇒ Hidrocarbonetos Moderados a Pesados: rápida redução no número e variedade de fauna invertebrada; aves e predadores sofrerão igualmente danos pelo contacto directo e através da cadeia alimentar.
- ⇒ Hidrocarbonetos Pesados: impacte similar ao dos hidrocarbonetos moderados a pesados.
- ⇒ Hidrocarbonetos Residuais: potencial impacte grave a longo prazo no caso dos hidrocarbonetos se incorporarem nos sedimentos; de outro modo, impacte moderado com redução de algumas espécies de invertebrados.

Estuários (Dinis *et al.*, 1998)

- ⇒ Hidrocarbonetos Leves: são geralmente dispersos e volatilizados com impacte menor a menos que sejam concentrados numa pequena área, caso em que podem ser esperados efeitos tóxicos.
- ⇒ Hidrocarbonetos Moderados a Pesados: impacte significativo nos ecossistemas estuarinos, afectando animais, aves e sapais.
- ⇒ Hidrocarbonetos Pesados: impacte adverso a longo prazo se incorporarem sedimentos através de afundamento ou deposição no litoral. Afectarão seriamente as aves estuarinas, ecossistemas da faixa superior das margens, mariscos e peixes de fundo.
- ⇒ Hidrocarbonetos Residuais: impacte adverso a longo prazo no caso dos hidrocarbonetos residuais aderentes se incorporarem nos sedimentos. As bolas de alcatrão e os hidrocarbonetos muito degradados pelo tempo não são susceptíveis de causar efeitos significativos.

Sapais (API, 1994b)

- ⇒ Hidrocarbonetos Leves: mortalidade dispersa da fauna e flora.
- ⇒ Hidrocarbonetos Moderados a Pesados: vasta destruição da comunidade do sapal, sendo afectados todos os organismos.
- ⇒ Hidrocarbonetos Pesados: impacte similar ao dos hidrocarbonetos moderados a pesados.
- ⇒ Hidrocarbonetos Residuais: impacte grave a longo prazo se os hidrocarbonetos forem incorporados nos sedimentos e no sistema de raízes.

3. IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM DERRAME DE HIDROCARBONETOS

3.1 Meios de Detecção de Derrames

Os meios utilizados em Portugal, para a detecção e controlo de derrames de hidrocarbonetos no mar, têm sido essencialmente os navios da Marinha de Guerra e os aviões da Força Aérea Portuguesa, meios que normalmente estão empenhados no Serviço de Busca e Salvamento e na fiscalização da pesca. Estes reportam para os órgãos do Sistema da Autoridade Marítima os incidentes de poluição detectados. Os meios aéreos destinados à fiscalização e vigilância marítima possuem equipamento da mais avançada tecnologia, no que respeita a Detecção Remota, com aplicação na detecção e monitorização de derrames. De entre os vários sistemas que a Força Aérea opera, destacam-se (Berman *et al.*, 1995):

SLAR-Side Looking Airborne Radar-radar com grande capacidade de detecção e medição estimada de manchas provocadas por hidrocarbonetos e vigilância de extensas áreas. A reflexão do sinal e o tipo de imagem que se obtém provém da reflexão da superfície do mar, causada pela diferença de capilaridade das ondas, mesmo com velocidades de vento baixas. Se esta capilaridade for alterada, por mistura com algumas substâncias, a imagem SLAR mostra-se também alterada, por comparação do nível de retorno das diferentes partes da superfície do mar (Smith e Venne, 1986 e 1987).

Scanner IR/UV-Scanner Infravermelho e Ultravioleta-sensor de alta sensibilidade que funciona na gama de frequência dos infravermelhos e ultravioletas, para detecção, localização e delimitação de determinadas manchas poluentes (Berman *et al.*, 1995)

O canal IR tem capacidade de utilização diurna e nocturna, desde que não haja nuvens entre o sensor e a superfície do mar, medindo a radiação térmica que é, geralmente, menor numa superfície poluente que na água. Permite ainda verificar e analisar os locais onde é maior ou menor a espessura das diferentes camadas poluentes.

O canal UV somente pode ser utilizado com boas condições de luminosidade, pois regista a radiação ultravioleta que é reflectida pela camada poluente.

Sintetizando, as imagens IR e UV complementam-se, pois a primeira permite analisar e marcar os locais onde as manchas são mais espessas, enquanto a segunda permite o exame da área total de influência das manchas e a confirmação de que a imagem IR é efectivamente resultante de poluição e não de outro qualquer fenómeno de variação da temperatura de água (Pearlman *et al.*, 1992; Goodman, 1995).

Microwave Radiometer (MWR)- O radiómetro de microondas opera em comprimentos de onda entre 0.3 e 3 m e mede as diferenças de temperatura na superfície do mar. O aumento da radiação é função da espessura da mancha; assim, o computador que está associado ao sistema de tratamento de imagem calcula o volume da mancha poluente. Este aparelho pode ser usado como meio para quantificação de hidrocarbonetos com elevado grau de fiabilidade, apesar de não ser capaz de medir espessuras abaixo dos 0.05 mm; por conseguinte, não é capaz de detectar descargas operacionais (NOAA, 1994b).

Nos aviões da Força Aérea existem ainda câmaras de vídeo que possibilitam a gravação em VHS de toda a operação, bem como máquinas fotográficas (utilizando películas de 135 mm ou diapositivos).

O usos dos meios descritos está de certo modo limitado, no que respeita à detecção de hidrocarbonetos no mar, pelo número de unidades disponíveis e pelos custos envolvidos para cobrir uma tão vasta área marítima como as da costa e da ZEE portuguesas.

Actualmente, a Direcção-Geral de Marinha, como entidade coordenadora nacional em matérias de prevenção, detecção e combate à poluição no mar, está integrada no projecto piloto OIL WATCH, co-financiado pela União Europeia. Este projecto tem como objectivo avaliar as capacidades de detecção e monitorização de descargas operacionais nas costas atlânticas de Portugal e Espanha e nas costas mediterrânicas de Espanha, França e Itália, usando satélites.

Este sistema está a ser testado actualmente, mas no futuro poderá constituir uma fonte adicional de informação aos meios convencionais, com inúmeras vantagens: funciona de forma contínua, sendo eficaz sob quaisquer condições meteorológicas e tanto no período diurno como nocturno; proporciona um alerta de detecção de derrames no mar o mais próximo possível do tempo real (o tempo entre a detecção pelo sistema e o alerta para o utilizador é um factor crítico); possui cobertura superior à dada pelos meios utilizados actualmente; permite um acompanhamento de manchas poluentes persistentes de uma forma continuada depois de confirmadas; detecta descargas ilegais (Commission of the European Communities, 1993).

Uma dificuldade, no entanto, se levanta e diz respeito à possibilidade do uso de imagens de satélite como meio de prova em tribunal. Até agora as autoridades têm sempre preferido fotos ou vídeos como provas. Dificilmente uma imagem satélite é aceite, apesar das conclusões do Workshop on Evidence and Law Enforcement in the Event of Pollution Further the Release of Oil by Vessels (organizado pelo CEDRE em Dezembro de 1997) referirem que as imagens de satélite podem ajudar as autoridades responsáveis pela repressão da poluição ilegal.

Os derrames voluntários ou resultantes de incúria são punidos com multas ou coimas e, mesmo em caso de acidente, está previsto que o causador do derrame seja responsável pelo pagamento dos custos de todas as acções de recolha dos produtos e limpeza das zonas afectadas. A não existência de testemunhas que permitam identificar o navio infractor pode obrigar a uma identificação química do produto derramado, o qual deve ser comparado com produtos colhidos a bordo do navio que presumivelmente o derramou.

No final de ano 1999 e início de 2000, quarenta navios petroleiros têm aproveitado a mancha negra vertida pelo *Erika* ao longo da costa francesa, para efectuar a limpeza dos seus depósitos e fundos duplos. A marinha francesa explica, assim, a razão da nova capa de petróleo atribuída ao navio acidentado, voltando a manchar a área do litoral já limpa e provocando o desespero dos trabalhadores voluntários.

Cinco petroleiros foram surpreendidos em plena actividade de limpeza dos seus navios pelos aviões Franceses, embora dois deles não tivessem sido identificados por fuga.

As denúncias contra os proprietários dos respectivos petroleiros apanhados em flagrante delito, foram encaminhadas ao Tribunal de Grande Instância de Paris, com competência na matéria, dependendo deste Tribunal possíveis sanções (El PAÍS, 5 de Março de 2000).

Para identificar o produto derramado comparam-se as suas “impressões digitais” com as de produtos suspeitos. “Impressões digitais” de um produto petrolífero são uma representação, normalmente gráfica, da relação entre a concentração de alguns dos muitos compostos químicos presentes. A maneira de obter as “impressões digitais” de um produto tem variado ao longo do tempo, acompanhado o desenvolvimento de novas técnicas analíticas. Alguns métodos de identificação fazem a comparação entre grandes grupos, enquanto outros procedem à comparação quase composto a composto, recorrendo muitas vezes aos compostos menos abundantes mas mais identificadores. Em qualquer dos casos, interessa comparar compostos estáveis ou recorrer à razão entre teores de pares de compostos com estabilidades semelhantes (ITOPF, 1983; Galt, 1994).

A Cromatografia em Fase Gasosa com detecção por Espectrometria de Massa (CG/EM) permite obter uma grande série de “impressões digitais” levando à identificação da origem. É um método bastante completo e aceite como prova em casos de derrames julgados em tribunais na Alemanha e nos Países Nórdicos.

A composição química de um petróleo bruto é marcada pela região de onde provém e pela história do reservatório em que se formou. As características determinadas por CG/EM podem reflectir a origem geográfica e a história dos petróleos e permitir identificar o tipo de produto derramado previamente a qualquer comparação. O Instituto Hidrográfico utiliza este método de análise para realizar o estudo sistemático destes produtos de forma a construir uma base de dados de petróleo de várias origens geográficas (Biscaya e Neves, 1996).

A especificação do produto permite avaliar o seu comportamento e evolução, os riscos envolvidos e os meios a utilizar.

A identificação é feita essencialmente por recurso a:

- ⇒ Informações obtidas a partir da fonte poluidora.
- ⇒ Recurso a amostras e análises laboratoriais.

No primeiro caso é normalmente o originador da poluição que informa as características do produto derramado e, no segundo, quando é detectada uma mancha no mar de origem desconhecida, a autoridade marítima realiza a recolha de amostras que são enviadas ao Instituto Hidrográfico para análise e comparação com os dados existentes na base de dados. O cruzamento da informação obtida com os manifestos de carga dos petroleiros presentes na área do incidente permitirá indicar o causador do derrame (Nelson, 1998).

Em muitos casos a identificação do produto permitirá encontrar e/ou responsabilizar o originador do derrame.

Outro aspecto importante da identificação do produto prende-se com a possibilidade de prever o seu comportamento futuro no que respeita a fenómenos como, evaporação emulsificação, etc.

No procedimento de recolha e acondicionamento de amostras da água do mar deve proceder-se à recolha de 3 amostras de água, devidamente acondicionadas, sendo uma para análise e duas para futuros controlos. O uso de recipientes impróprios na recolha de amostras de água do mar pode conduzir a uma avaliação errada da situação real, à adopção de estratégia inadequada no combate à poluição e à anulação de esforços logísticos importantes.

Para evitar a ocorrência destas situações deve atender-se à seguinte recomendação:

- ☐ As recolhas devem efectuar-se em recipientes de vidro escuro, com capacidade entre 300 ml e 2 litros (de acordo com a viscosidade devem ser usados frascos com boca de diâmetro adequado), mantidos à temperatura ambiente e que previamente deverão ter sido cuidadosamente lavados à torneira e passados, na altura, por água do mar, pelo menos três vezes. A água do mar usada na passagem deve ser recolhida em local que não tenha sido afectado por quaisquer descargas (Boaventura, 1987).

3.2 Quantificação do Produto Derramado

A quantificação do produto derramado é outro assunto que interessa avaliar quando de um derrame pelas implicações que tem nas opções estratégicas, na mobilização da quantidade de meios de combate necessários, na avaliação do seu comportamento e na avaliação da gravidade da situação.

Existem dois casos diferentes:

- i. Há conhecimento da quantidade que foi derramada.
- ii. Não há conhecimento da quantidade que foi derramada.

A primeira situação engloba os casos em que se conhece com elevada aproximação a quantidade derramada, como é o caso da perda total de um navio, de acidente marítimo (colisão ou encalhe) em que é possível calcular a quantidade aproximada libertada do navio, ou de uma descarga accidental durante uma operação de carga ou descarga, em que é possível estimar, face ao débito e duração do derrame, a quantidade derramada no mar.

No segundo caso desconhecem-se as quantidades libertadas, como é o caso de uma mancha que aparece no mar por lavagem de tanques ou em resultado de um acidente com explosão e incêndio em que se desconhece a percentagem de produto inflamado.

Neste caso apenas se conhece o resultado visível do produto libertado à superfície do mar e há que, a partir dele, avaliar a quantidade derramada (Lasserre, 1977).

Determinação das Quantidades Derramadas

No intuito de estimar a probabilidade de contaminação é necessário, além de conhecer a ocorrência de derrame, calcular o tempo de transporte até as zonas a proteger. O transporte depende do estado do mar, bem como da dos conhecimento da tripulação. As propriedades físicas mais importantes são a densidade, a viscosidade, o ponto de corrimento ou de fluidez, o ponto de inflamação e a solubilidade (Nelson, 1998).

A *densidade* dos hidrocarbonetos é quase sempre inferior a 1, o que lhes permite flutuar. Uma vez derramado no mar, devido aos fenómenos de envelhecimento (evaporação e sobretudo emulsificação) a sua densidade aumenta progressivamente até valores próximos dos de água do mar e torna a sua flutualidade mais incerta.

A densidade dos petróleos brutos e seus derivados é geralmente expressa em termos de densidade API (American Petroleum Institute) de acordo com fórmula:

$$^{\circ}API = \frac{141.5}{d} - 131.5$$

Em geral os hidrocarbonetos de fraca densidade (graus API elevados) têm uma fraca viscosidade e são constituídos por uma forte proporção de elementos voláteis (Strain, 1986; Vandermeulen *et al.*, 1988).

A *viscosidade* dum hidrocarboneto representa a sua resistência à fluidez devido à fricção entre as moléculas. Os hidrocarbonetos têm viscosidades muito variáveis e, dependem da temperatura. No momento de um transbordo no mar, devido aos fenómenos de envelhecimento, esta viscosidade aumenta progressivamente, eventualmente até valores elevados. Por outro lado, a viscosidade decresce com o aumento da temperatura (Molt and Weber, 1991).

As características de destilação dependem da volatilidade dos hidrocarbonetos. Quando a temperatura dos hidrocarbonetos aumenta alguns compostos atingem os seus pontos de ebulição iniciando-se o processo de destilação. Uma vez que o petróleo bruto engloba um elevado número de constituintes com diferentes pontos de ebulição, há que considerar não um único ponto de ebulição mais sim um espectro de pontos de ebulição. Os constituintes leves evaporam-se rapidamente enquanto os pesados permanecem à superfície do mar por maior período de tempo.

Ponto de corrimento ou de fluidez define-se como a temperatura abaixo da qual os hidrocarbonetos brutos deixam de escoar/fluir, isto é, iniciam a sua solidificação (tornando-se semi-sólidos). Este é o resultado da formação duma estrutura microcristalina.

O ponto de fluidez dos petróleos brutos varia em geral entre -35°C a 40°C .

O ponto de inflamação é a temperatura mínima a que um combustível é capaz de libertar vapores em quantidades suficientes para que se possa formar uma mistura inflamável. Esta característica é extremamente importante para a segurança nas intervenções quando estas se referem a produtos refinados ou petróleos leves.

O ponto de inflamação é uma propriedade extremamente importante para a segurança das operações de lavagem dos tanques.

A solubilidade ou dissolução é a propriedade que têm certos hidrocarbonetos de se dissolverem na água. A dissolução é tanto maior quanto maior for a evaporação de um dado hidrocarboneto, sendo esta importante do ponto de vista dos efeitos tóxicos sobre os seres vivos do meio marinho.

O grau de dissolução dum hidrocarboneto está também dependente da pulverização a que foi sujeita, da extensão da propagação, do grau de dispersão, da temperatura e da turbulência da água onde se espalhou.

Os compostos de petróleo bruto de elevada densidade são praticamente insolúveis na água, enquanto que os produtos refinados leves, de baixa densidade, são de fácil dissolução. No caso dos primeiros, a dissolução raramente 1 ppm e, assim, este factor não tem valor significativo para a sua remoção ou eliminação.

Para além das propriedades físicas referidas, existem outros processos que contribuem para a decomposição, diluição ou precipitação. A velocidade e a extensão desses fenómenos dependem, em parte, da natureza química específica de cada petróleo e das condições físicas do ambiente poluído.

3.3 Processos de Alteração dos Hidrocarbonetos no Seguimento dos Derrames

Os hidrocarbonetos espalhados à superfície do mar estão sujeitos, na zona de interface ar-água e na coluna de água, aos múltiplos efeitos do meio ambiente que conduzem a alterações importantes do seu estado físico e características químicas e que se podem agrupar em duas fases distintas:

- ⇒ Uma evolução primária, preponderante no decurso dos primeiros dias, devido ao espalhamento do produto e à evaporação das suas fracções leves sob a acção dos ventos; a dissolução dos compostos mais solúveis, a formação de emulsões sob o efeito da agitação das águas e a sedimentação por fixação de partículas em suspensão na coluna de água. Esta evolução primária afecta principalmente as características do produto (densidade, viscosidade, ponto de escoamento, teor em água) sem modificar a natureza química dos seus constituintes.
- ⇒ Uma evolução secundária que se pode estender de vários meses a vários anos sobre o produto já envelhecido e que conduz à transformação das suas moléculas por oxidação química ou fotoquímica ou acção microbiana.

Os diferentes processos que se observam no seguimento de um derrame podem ser descritos muito resumidamente como segue:

❖ Espalhamento

Define-se como processo de alastramento de um toalha de hidrocarboneto sobre a superfície das águas do mar.

Este fenómeno, que se processa ao longo de vários dias, regista-se com grande rapidez nas primeiras horas (algumas centenas de metros/hora, sendo a relação volume/peso dos hidrocarbonetos o que mais influencia), e mais lentamente a seguir (alguns metros/hora). Depende da natureza do produto, quantidades presentes e condições meteorológicas predominantes (correntes de superfície, vento e temperatura da água).

Inicialmente, a acção da gravidade e, por fim, a tensão superficial têm grande influência no processo. O grau de espalhamento é inversamente proporcional à viscosidade dos hidrocarbonetos e processa-se com maior dificuldade para aqueles que são derramados a uma temperatura inferior ao do seu ponto de escoamento (Duarte, 1998).

Regra geral, uma hora após um derrame de petróleo bruto, a camada do produto à superfície apresenta uma espessura de cerca de 3 mm, passadas algumas horas/dias a espessura ficará reduzida a cerca de 0.3 a 0.1 mm. O espalhamento processa-se desde o momento do derrame até 1 a 10 dias (ITOPF, 1981).

A formulação desenvolvida por Fay (1971) é a que mais tem sido utilizada para descrever o espalhamento dos hidrocarbonetos na superfície do mar. No entanto, com base nesta formulação têm sido desenvolvidas algumas outras: (Wang *et al.*, 1975; Hoult, 1972; Lehr *et al.*, 1984 e Reed, 1989).

❖ Evaporação

Este processo depende da pressão de vapor dos componentes dos hidrocarbonetos, das condições ambientais e da área superficial. A evaporação diminui o volume da mancha derramada, o grau de inflamação e toxicidade, mas aumenta a viscosidade e a densidade dos resíduos.

Os hidrocarbonetos leves, isto é, aqueles que possuem uma elevada percentagem de fracções com baixo ponto de ebulição, tendem a perder rapidamente, por evaporação, grande parte do volume derramado. Os hidrocarbonetos pesados tendem a perder do mesmo modo os componentes leves mas em menor volume.

Com base em ensaios realizados pela Warren Spring Laboratory (1982), em tanque exposto a condições atmosféricas médias, constatou-se que, nas películas de hidrocarbonetos derramados, aqueles que têm ponto de ebulição inferior a 200°C se evaporam em 24 a 48 horas; os que destilam até a temperatura de 350°C evaporam-se parcialmente num período de vários dias a várias semanas; os hidrocarbonetos mais pesados apenas perdem por evaporação 5 a 20% do seu volume, enquanto os mais leves podem perder 50 a 60% em 24 horas; a gasolina evapora-se completamente em algumas horas e o gasóleo e querosene, em mar aberto, em 24 horas.

Ainda que os derrames em mar aberto de hidrocarbonetos muito leves, tais como gasolina e naftas, ponham poucos problemas ambientais devido à rápida evaporação, colocam grandes dificuldades nas operações de limpeza no litoral se penetrarem nos substratos.

Deverá ter-se sempre presente que os derrames de hidrocarbonetos voláteis constituem um risco de incêndio significativo, em especial se ocorrerem em águas interiores ou em áreas confinadas (Payne *et al.*, 1983).

Na tabela 3.1 apresentam-se taxas de evaporação registrada em acidentes com navios tanques.

Tabela 3.1-Taxa de evaporação em alguns dos mais graves acidentes ocorridos com navios-tanques (Office of Technology Assessment 1991, SEEC 1998)

Navio tanque	Local/Data	Crude derramado	Quantidade (tons.)	% Evaporação
Torrey Canyon	UK, Março 1967	Kuwait	117 000	40-50%
Amoco Cadiz	França, Março 1978	Arabian Light e Iranian	223 000	25-30%
Exxon Valdez	USA, Março 1989	Alaskan North Slope	37 000	15-20%
Braer	UK, Janeiro 1993	Gulfaks	85 000	10-20%
Sea Empress	UK, Fevereiro 1996	Forties	73 000	35-45%

Do ponto de vista ambiental, a evaporação resulta no transporte de poluentes para longe do local do derrame depositando-os noutras áreas. Igualmente, os hidrocarbonetos podem reagir com outros componentes gasosos e contribuir para a poluição atmosférica (Derwent & Jenkin, 1991).

Na Figura 3.1 apresenta-se a relação entre o tempo de derrame e percentagem da evaporação para diferentes petróleos.

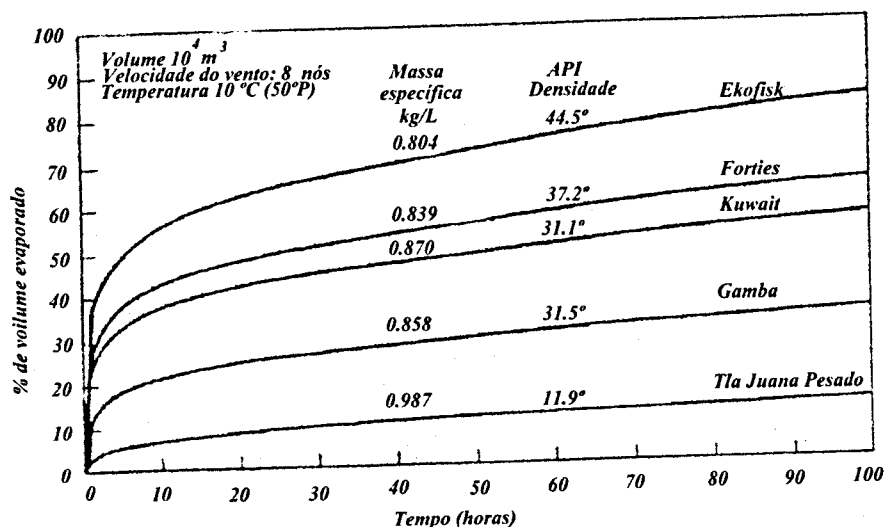


Figura 3.1-Relação entre o tempo de derrame e percentagem da evaporação para diferentes petróleos (Stiver & Mackay, 1983)

❖ Dispersão

De acordo com Conca (1983) o grau de dispersão de um produto é função da agitação do mar, das características dos hidrocarbonetos, fundamentalmente viscosidade e ponto de escoamento, e da dimensão do derrame. As temperaturas da água e do ar influenciam igualmente a dispersão (temperaturas inferiores às dos pontos de escoamento inibem o espalhamento e dispersão dos hidrocarbonetos).

A dispersão começa logo após a descarga e pode ter grande significado depois de poucas horas, constituindo elemento essencial para assegurar aos microrganismos condições de rápido metabolismo. Por essa, o uso de dispersantes é considerado útil, por alguns autores, no processo de destruição do petróleo. O dispersante, entretanto, não deve ser tóxico por si mesmo. Por outro lado, o emprego de dispersante biodegradável contribui para elevar a CBO e esse efeito deve ser contrabalançado, fornecendo oxigénio em abundância. Além disso, os dispersantes “forçam” activamente o petróleo para dentro do ambiente marinho, fazendo com que as fracções tóxicas se dissolvam mais rapidamente atingindo elevadas concentrações, causando assim mais danos aos ecossistemas do que o próprio petróleo.

Uma simples aproximação para o cálculo da taxa de dispersão é considerá-la como função do estado do mar e do tempo após o derrame. Audunson (1979) sugeriu uma formulação empírica baseado no quadrado da velocidade do vento, traduzindo esta em quantidade de energia disponível para conduzir as gotas de óleo dentro da coluna de água. Reed (1980) e Spaulding *et al.* (1982) utilizaram a aproximação de Audunson introduzindo uma função exponencial decrescente para contabilizar o processo de evaporação e formação de emulsão. De acordo com esta formulação, 99% da dispersão e dissolução estão completas poucos dias após o derrame.

Mackay & Leinonen (1977) e Mackay *et al.* (1980) realizaram estudos sobre a dispersão de manchas com espessuras fina e grossa ($5 \mu\text{m}$ e 5mm , respectivamente) e, de acordo com o comportamento observado, desenvolveram duas formulações matemáticas que ainda não foram validadas.

Delvigne (1988) realizou uma série de medições experimentais sobre dispersão do óleo na coluna de água e desenvolveu um modelo teórico para a taxa de dispersão vertical do óleo em função do tipo de óleo, da espessura da mancha, do tamanho das partículas, da energia de rebentação das ondas e da temperatura.

❖ Dissolução

Os hidrocarbonetos são de dissolução difícil na água, processando-se de acordo com a facilidade de dispersão e espalhamento dos mesmos, assim como da temperatura e agitação das águas (Sutton and Calder, 1974).

A percentagem de hidrocarbonetos dissolvidos na água do mar é muito reduzida e limita-se principalmente aos componentes mais leves e, em particular, aos aromáticos que são os mais tóxicos (McAuliffe, 1983).

Na figura 3.2 apresenta-se a solubilidade dos principais componentes dos hidrocarbonetos.

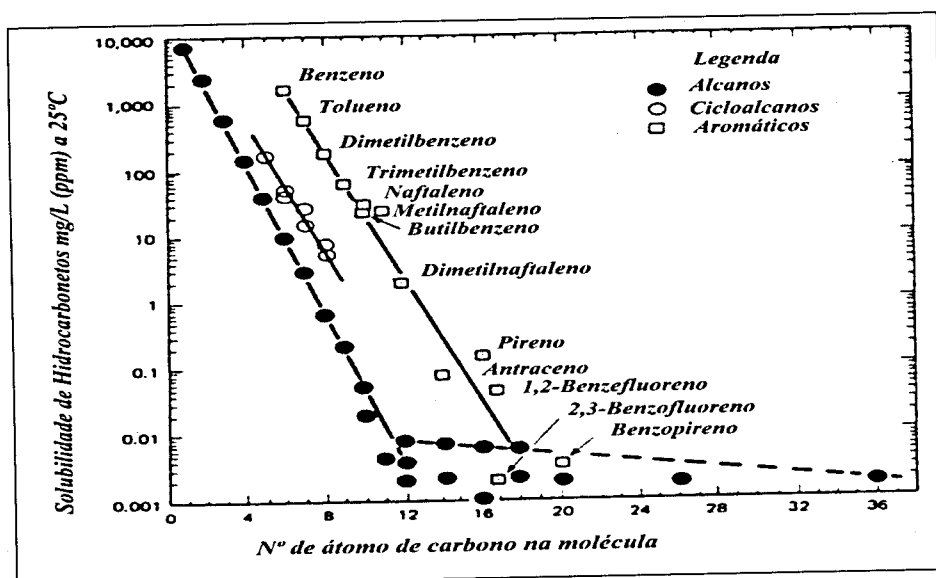


Figura 3.2-Solubilidade dos principais componentes de hidrocarbonetos quando derramados (McAuliffe, 1983).

❖ Emulsificação

A emulsificação é o processo pelo qual um líquido se dispersa dentro de outro em forma de pequenas gotas. No caso do petróleo, a emulsão resultante pode ser de dois tipos: óleo-na-água, que facilmente se dispersa na coluna de água, e água-no-óleo, que ao contrário da anterior, é uma emulsão extremamente estável e que pode persistir durante meses após o derrame. Para mostrar melhor a diferença entre estas emulsões, podemos usar o exemplo do leite como emulsão óleo-na-água e da manteiga como exemplo de emulsão água-no-óleo. A formação de emulsões é tanto mais acelerada quanto mais agitada estiver a superfície do mar e depende principalmente da composição do óleo e da temperatura (Fingas *et al.*, 1979).

As emulsões água-no-óleo mais comuns são as que contêm entre 50 a 80% de água, apresentam cor castanha-avermelhada e aparência consistente; estas emulsões são conhecidas por "mousse de chocolate". Em geral, os hidrocarbonetos ricos em asfaltos, altamente viscosos e de elevado peso volúmico, tendem a formar este tipo de emulsões mais rapidamente que os menos viscosos e de menor peso volúmico.

A formação de emulsões deste tipo é a principal responsável pela persistência dos hidrocarbonetos sobre as águas, pois retardam a sua dissipação e inibem as reacções químicas e biológicas devido à redução das áreas expostas ao ar e à água. Igualmente, constituem um problema durante as operações de recolha e limpeza, não só pelo aumento significativo da quantidade de produto a ser removido, como também pela diminuição da eficiência dos equipamentos mecânicos de recolha (ITOPF, 1981).

Os produtos menos viscosos podem incorporar 60 a 80% de água em apenas algumas horas, e os de elevada viscosidade poderão levar 10 horas ou mais para absorverem 10% de água, nas mesmas condições (Wang & Huang, 1979).

❖ Sedimentação

Segundo Burns and Teal (1979), a sedimentação é um processo pelo qual as partículas de hidrocarbonetos provenientes de um derrame, inicialmente à superfície e depois na coluna de água, se afundam, uma vez que se verifica um aumento de densidade por evaporação dos componentes mais leves e, principalmente, agregação de partículas de materiais em suspensão na coluna de água.

Este processo, mais propício de ocorrer com hidrocarbonetos pesados ou degradados em águas de pouca profundidade e agitadas, reveste-se de maior importância nas zonas do litoral e estuários onde as matérias em suspensão são mais abundantes. Embora este fenómeno promova a remoção dos hidrocarbonetos à superfície do mar, reduzindo portanto os risco para as aves marinhas e linhas da costa, tem, por outro lado, efeitos adversos sobre as comunidades bentónicas, além de constituir uma fonte de contaminação a longo prazo.

Numerosos estudos têm sido realizados sobre a agressão ao óleo de partículas em suspensão na coluna de água, mas permanece a dificuldade de obter expressões matemáticas para descrever a dinâmica do processo de um modo quantificável (Meyers & Oas, 1978; Kirstein *et al.*, 1985).

❖ Biodegradação

É um processo que consiste na transformação dos hidrocarbonetos, pela acção dos microrganismos, essencialmente as bactérias e fungos, em compostos mais simples susceptíveis de serem integrados nos ciclos naturais. Tais microrganismos estão amplamente espalhados no mar e proliferam nas águas mais contaminadas, tais como as que recebem descargas de esgotos não tratados (Concawe, 1981; ITOPF, 1986).

A duração da acção destes microrganismos (alguns dias a várias semanas) depende de vários factores, entre os quais se destaca a extensão da superfície do derrame em contacto com a água e com as bactérias, a disponibilidade de outros nutrientes na água ou sedimentos, principalmente os compostos de nitrogénio e de fósforo, a composição dos hidrocarbonetos, temperatura e oxigénio disponível (Swannem *et al.*, 1992).

Admite-se que os petróleos brutos mais comuns contêm em média cerca de 40% de hidrocarbonetos dificilmente biodegradáveis e que se contam entre os mais nocivos.

O processo, que actua apenas em alguns componentes, principalmente nas fracções leves, é facilitado pelo espalhamento, dispersão e dissolução e, em certas situações, poderá ser acelerado com a utilização de dispersantes (técnica muito controversa e longe de ser universalmente aceite). Não têm sido desenvolvidos modelos matemáticos para descrever a taxa de biodegradação dos hidrocarbonetos no ambiente marinho. Contudo, é facto assente que a degradação se processa na interface óleo/água e a redução dos hidrocarbonetos derramados por via da actividade biológica é insignificante quando comparado com os processos de evaporação ou dispersão natural (Office of Technology Assessment, 1991; McGoven, 1999).

❖ Oxidação

A oxidação é outro dos processos que contribui para o envelhecimento dos hidrocarbonetos. Como esta reacção ocorre na superfície, os hidrocarbonetos serão oxidados mais rapidamente quanto mais espalhados estiverem. É um processo lento quando comparado com outros processos de envelhecimento, visto que só uma limitada quantidade de oxigénio é capaz de penetrar através do crude derramado (ITOPF, 1986).

Os compostos resultantes da oxidação dos hidrocarbonetos podem ser solúveis em água, sendo mais facilmente degradados, ou podem-se combinar com aqueles, formando alcatrão persistente.

A velocidade da oxidação aumenta em presença de sais minerais dissolvidos na água do mar e por alguns metais presentes no petróleo. Por exemplo, o vanádio que está presente em quantidades residuais em alguns crudes, actua como catalisador aumentando a velocidade de oxidação; por outro lado, a presença de compostos de enxofre no crude tende a diminuir esta velocidade.

Consequentemente, um crude que contenha maior quantidade de metais do que de enxofre (por exemplo: os crudes Norman Welli e Libya) oxidar-se-ão mais rapidamente que crudes como os procedentes de Alberta que contêm elevado conteúdo de enxofre (Garret *et al.*, 1998).

Este processo não é importante nos primeiros dias após o derrame, mas torna-se significativo após uma ou mais semanas. Kolpak *et al.* (1977) desenvolveram uma expressão para calcular a taxa de foto-oxidação baseada em extrapolação de resultados experimentais de derrames em mar aberto, mas esta aproximação ainda não foi verificada.

Na figura 3.3 observam-se os processos de envelhecimento dos hidrocarbonetos no mar.

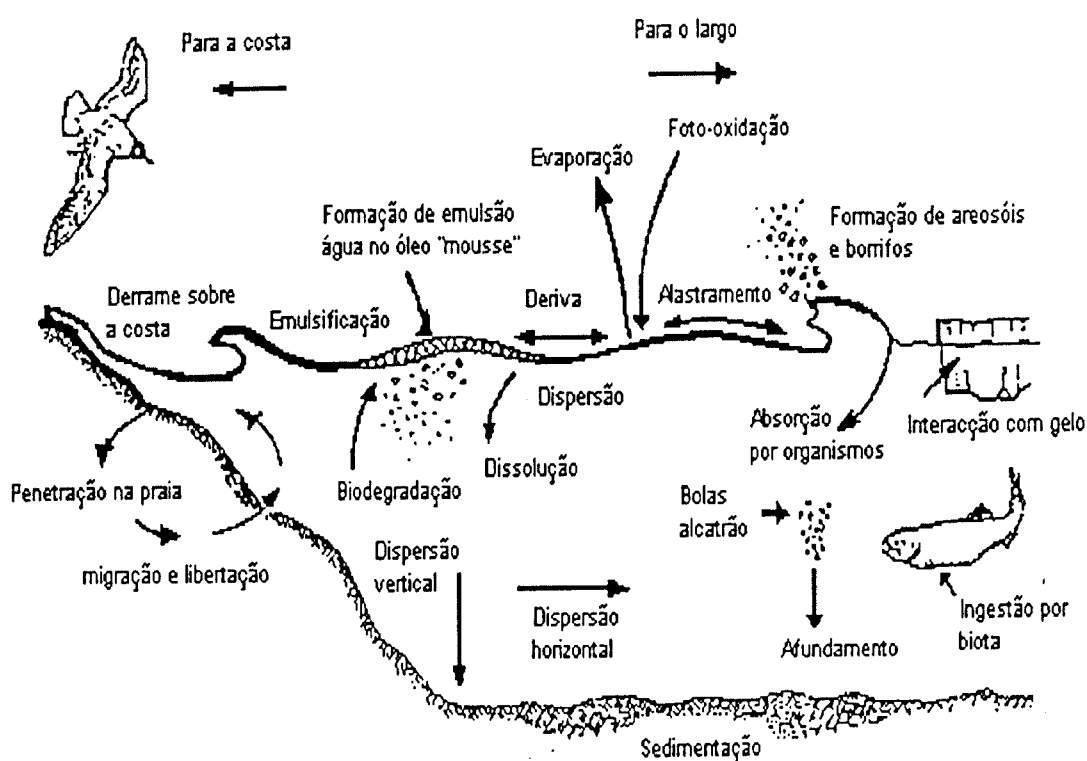


Figura 3.3-Processos de envelhecimento dos hidrocarbonetos derramados no mar (Burwood and Speers, 1973)

Na figura 3.4 está representada esquematicamente a evolução dos processos de envelhecimento dos hidrocarbonetos ao longo do tempo.

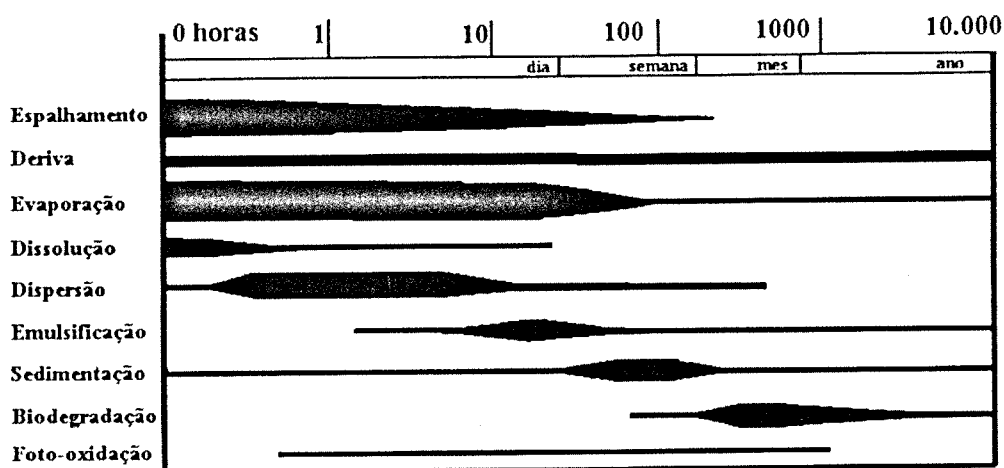


Figura 3.4 -Representação esquemática da evolução dos processos de envelhecimento ao longo do tempo (NOAA, 1992)

Existem modelos matemáticos mais ou menos complexos que, em função das características dos produtos e de variáveis externas ambientais, permitem calcular a percentagem do produto que se evapora, bem como a que fica na água à superfície, na coluna de água ou no fundo (Costa, 1999).

As quantidades evaporadas ou dissolvidas estão mais ligadas à segurança pessoal e do meio ambiente, pelo que exigem acções de vigilância e controlo até atingirem concentrações aceitáveis, na impossibilidade de serem tomadas acções de combate.

As quantidades afundadas podem exigir acções de longo prazo que, por razões técnicas e económicas, estão normalmente fora da alçada da intervenção.

Assim, vai ser tratada na profundidade possível, a determinação da quantidade de produto derramado que flutua, o que é importante para:

- ❑ a tomada de decisões sobre a estratégia a adoptar;
- ❑ a escolha de equipamentos a utilizar na intervenção;
- ❑ a escolha de meios e métodos de armazenagem e tratamento/eliminação dos produtos recolhidos.

Existem dois casos - limite que importa considerar:

- a) Derrame com origem desconhecida: é o caso do aparecimento de um derrame no mar sem que seja possível determinar a sua origem, tipo de produto e quantidade derramada. Normalmente a mancha de hidrocarbonetos avistada traduz só a parte que permanece a flutuar, dado ter-se já evaporado a parte volátil.

Neste caso, a determinação da quantidade de hidrocarbonetos que se encontra no mar é efectuada recorrendo ao método da observação visual da película e estimativa da área coberta. A determinação do produto é efectuada por meio de análise, havendo que efectuar a recolha de amostras.

- b) Derrame com origem conhecida: neste caso é provável que o próprio navio originador do derrame informe sobre a quantidade derramada, ainda que tal informação em muitos casos seja no sentido de minimizar essa quantidade.

No caso de um acidente envolvendo um petroleiro, a quantidade derramada pode ser estimada conforme se indica na tabela 3.2.

Tabela 3.2-Derrames em caso de um acidente (Lasserre, 1974)

DERRAME MÁXIMO EM TONELADAS MÉTRICAS				
TONELAGEM TÍPICA DWT	COLISÃO LIGEIRA (1 TANQUE LATERAL)	ENCALHE 3 TANQUES (2 LATERAIS E 1 CENTRAL)	DESTRUIÇÃO COMPLETA	
			CARGA	FUEL
30 000	700	3 000	30 000	1 350
50 000	1 100	5 000	50 000	2 300
70 000	3 000	12 000	70 000	5 200
100 000	5 500	21 000	100 000	7 000
200 000	10 500	45 000	200 000	8 300
240 000	15 000	60 000	240 000	12 000

3.4 Alguns Modelos Matemáticos de Análise

a) Modelo TransSpill

Este modelo foi desenvolvido pela Rijkswaterstaat's North Sea Directorate para simular o comportamento dos hidrocarbonetos no mar. O modelo é parte integrante do modelo de diagnóstico ESLA (Emergency Level Scale Assessment) utilizado pelos países da União Europeia para avaliação dos níveis de risco para os seres vivos e meio ambiente devido a derrames de hidrocarbonetos e outras substâncias perigosas no mar (Koops, 1991 e 1992).

Conhecendo o volume inicial derramado do produto, o modelo permite avaliar, em função do tempo, as quantidades que foram dissolvidas, que se evaporaram e que flutuam.

As variáveis que considera são:

- ⇒ velocidade do vento;
- ⇒ tempo;
- ⇒ densidade do produto;
- ⇒ quantidade derramada.

Há que ter em linha de conta que:

- o aumento da velocidade do vento e do tempo aumentam a evaporação e a dissolução;
- o aumento da densidade e da quantidade derramada reduzem a evaporação e a dispersão natural.

No modelo TransSpill, os hidrocarbonetos são classificados em três grandes grupos consoante a sua massa volúmica. O primeiro consiste em hidrocarbonetos com massa volúmica menor que 800 kg/m^3 ($700+$), o segundo entre 800 e 900 kg/m^3 ($800+$) e o terceiro maior que 900 kg/m^3 ($900+$). Na tabela 3.3 são apresentadas as propriedades mais revelantes para cada grupo.

Tabela 3.3-Propriedades dos tipos de hidrocarbonetos utilizados no modelo TransSpill (Koops, 1991).

Propriedades		Tipos de hidrocarboneto		
		700+	800+	900+
Massa volúmica	(kg/m ³)	791	850	928
Viscosidade	(cSt)	3.36	13.43	241.62
Temperatura de fluidez	(C)	-14.6	-8.95	-23.46
Pressão de vapor	(Pa)	19900	40955	17600
1.ª temp. evaporação	(C)	93.0	96.5	79.6
2.ª temp. evaporação	(C)	260.0	251.7	243.5
Evaporação à 1.ª temp.	(% peso)	15.5	12.2	5.5
Evaporação à 2.ª temp.	(% peso)	52.6	40.6	21.7
Massa molar	(kg/kmol)	221	253	294

Podem ser calculadas as percentagens de produto que evapora (F_e), dispersa (F_d) e permanece à superfície da água (F_f), em função da massa volúmica (ρ) e tempo de permanência (te) do produto na água.

⇒ volumes derramados (V) < 15 m³:

$$F_e = 253.17 - 0.246 \rho \quad (1)$$

$$F_f = 0 \quad (2)$$

$$F_d = 100 - F_e \quad (3)$$

⇒ volumes derramados (V) > 15 m³:

$$F_e = 239.25 + 5.9658 \times \log V - 1.3307 \times \log^2 V - 0.2364 \times \rho \quad (4)$$

$$F_f = 226.13 - (178.625 \times \log V) + (22.2734 \times \log^2 V - 0.3236 \times \rho) + (0.006931 \times e^{(\rho/100 \times \log V)}) + (0.2531 \times \rho \times \log V) - (0.02948 \times \rho \times \log^2 V) \quad (5)$$

$$F_d = 100 - (F_e + F_f) \quad (6)$$

Todas estas equações foram obtidas através de regressão linear aplicada a derrames reais no Mar de Norte, tendo coeficientes de correlação próximos de 1. No entanto, estas equações tornam-se menos exactas para volumes derramados superiores a 100 000 m³. Se $F_e + F_f > 100\%$, F_d calculada pela equação (6) torna-se negativo, devendo neste caso ser feita a correcção:

$$F_d = -1.4286 \times \log V + 8.64 \quad (7)$$

Como o coeficiente de correcção da equação (5) é melhor que o da equação (4), esta é utilizada para o cálculo de F_f , sendo a fracção evaporada dada por:

$$F_e = 100 - (F_f + F_d) \quad (8)$$

b) Modelo de Buchanan

Buchanan (1987) propõe expressões para descrever os processos de evaporação, dispersão e emulsificação que sofrem os hidrocarbonetos quando derramados no mar, tendo como base os estudos realizados por Mackay *et al.* (1980, 1983). Apresenta também equações que descrevem as alterações na viscosidade e na massa volúmica dos hidrocarbonetos. Este modelo requer dados sobre as propriedades do produto, particularmente do conteúdo em asfaltenos e elementos da curva de destilação (Costa, 1999).

c) Modelo Parcel

É um modelo tridimensional de transporte, espalhamento e envelhecimento de hidrocarbonetos derramados no mar. Foi desenvolvido por MUMM (Management Unit of the North Sea and Scheldt Estuary Mathematical Models), tendo como base os trabalhos realizados por Elliott & Hurford (1989), Johansen (1983) e Rasmussen (1985).

O modelo Parcel (1992) foi acoplado ao modelo hidrodinâmico UM-STORM (Adam, 1987) desenvolvido para o Mar do Norte. A sua validação foi realizada com o incidente de poluição ocorrido em Março de 1992 após a colisão dos navios “Amer-Fudgi” e “Meritas”, na zona costeira da Bélgica.

Os processos considerados neste modelo são os seguintes:

- ⇒ Evaporação, dispersão, emulsificação, aumento da massa volúmica e aumento da viscosidade.

d) Modelo Cozoil

O modelo Cozoil (Costal Zone Oil Spill) de simulação da deriva e evolução de hidrocarbonetos derramados foi desenvolvido pelo Minerals Management Service (Departamento do Interior do Alaska), tendo como base o modelo desenvolvido por Reed & Gundlach (1983), para simular derrames tanto em mar aberto como em águas pouco profundas.

Considera que, em águas profundas, a mancha de óleo à superfície da água é transportada como resultado do somatório das diferentes influências exteriores que actuam sobre ela. Assim a velocidade de transporte da mancha é dada por:

$$U_m = U_c + U_{on} + C_u U_v \quad (9)$$

em que U_c = velocidade da corrente; U_{on} = velocidade induzida pelas ondas e marés; U_v = velocidade do vento e $C_u = 3\%$.

A dispersão e a dissolução são modeladas em conjunto. O algoritmo utilizado foi o proposto por Audunson (1979) e modificado por Spaulding *et al.* (1982), no qual a variação do volume (por dia) devido a estes dois processos é dada através da seguinte equação:

$$\frac{dV_{ds}}{dt} = 0.4V \frac{U_v^2 e^{-0.5t}}{U_{v0}^2} \quad (10)$$

em que U_{v0} = velocidade do vento de referência (8.5 m/s).

No processo de formação de emulsões é utilizada a formulação proposta por Mackay *et al.* (1980).

3.4.1 Modelos Disponíveis na União Europeia

Costa (1999) apresenta uma síntese dos modelos existentes na União Europeia onde consta a informação sobre os dados a introduzir, os processos que cada modelo contempla, os elementos fornecidos após simulação e as principais características de cada modelo (tabela 3.4).

Tabela 3.4- Modelos de simulação desenvolvidos na União Europeia (Costa, 1999).

Nome	País	Processos incluídos	Dados de entrada	Formato de saída	Características
Aquamarine	Reino Unido	1,2	1,2,3,6	1,2,4,7	1,5
Cosmos	Dinamarca	1,2,3,4,5,6	1,2,3,4,5	1,2,3	1,4
Coss	Reino Unido	1,2,3,6	1,2,3,5,7	1,4,5	2,6
EuroSpill	Reino Unido	1,2,3,5,6	1,2,3,4,5	1,2,5,7	3,4,7,8
Ifremer	França	1,2	1,3,6	4,6	3,4,7,10
Mixwel	Reino Unido	1,2	1,5,6	-	-
UM-Disper	Bélgica	1,2	1,2,3,4,5,6,7,8	1,4,5	3,6,7,9
UM-Slik	Bélgica	1,2	1,2,3,5	1,2,3	1,6
OilSpill	Portugal	1,2,3,4,5,6	1,2,3,4,5,7	1,3	1,5,8,9
Slikforecast	Noruega	1,2,3,4	2,3,4,5,7	1,2,3,4,6	1,4,7,8
System 21	Dinamarca	1,2	1,3,4,6	1,4	1,6
TransSpill	Holanda	1,2,3,4,6	2,3,4,5,6	1,2,3,5	1,6
Tideway	Reino Unido	1,2	1,2,3,4,5,6,7,8	1,3,7	1,6,7,9

Legenda da tabela 3.4:

<u>Processos incluídos</u>	<u>Dados de entrada</u>	<u>Formato de saída</u>
1. Transporte	1. Correntes	1. Tabela de resultados
2. Espalhamento	2. Vento	2. Evolução do poluente (gráfico)
3. Evaporação	3. Descrição do derrame	3. Área afectada (gráfico)
4. Dispersão natural	4. Composição do hidrocarboneto	4. Evolução da concentração (gráfico)
5. Emulsificação	5. Temperatura do mar	5. Gráficos dos parâmetros vs. tempo
6. Massa volumica	6. Topografia	6. Dados estatísticos
	7. Propriedades do produto	7. Vídeo de resultados
	8. Coeficiente de interacção	
	<u>Características</u>	
<u>Produtos:</u>	<u>Aplicação:</u>	<u>Outras:</u>
1. Hidrocarbonetos	4. Mar do Norte	9. Requer muita informação de entrada
2. Produtos químicos	5. Estuários	10. Possui modelo hidrodinâmico incorporado
3. Hidrocarbonetos e produtos químicos	6. Mar aberto	
	7. Mar mediterrâneo	
	8. Oceano Atlântico	

3.5 Determinação da Área Máxima de Espalhamento dos hidrocarbonetos

É possível avaliar a área máxima de espalhamento de um hidrocarboneto derramado. Esta determinação é teórica, pressupondo que o produto não seria afectado por ventos ou correntes. A expressão teórica foi desenvolvida por Fay (1971) apenas para dar uma ideia da extensão da área que pode estar envolvida num derrame.

$$A_{max} = \pi \times (R_{max})^2 = 10^5 \times V^{0.75} \quad (11)$$

em que A_{max} = área máxima de espalhamento (m^2), V = volume de óleo derramado (m^3);

$h = \frac{V}{A_{max}}$ representa a razão da propriedade individual ou da variação de crude

Teoricamente seria possível obter a quantidade do produto a flutuar desde que fosse conhecida a área atingida, que poderá ser estimada por observação visual, e a espessura da camada do produto.

Na prática revela-se extremamente difícil o recurso a este método dado que:

- a determinação da área é muito difícil, em especial quando a mancha não se encontra concentrada. Mesmo por observação aérea é difícil a quantificação, que é sujeita a erros devidos a sombras de nuvens, coloração devida a algas, etc.
- a determinação da espessura é muito difícil.

No entanto, mesmo com grandes erros, a quantidade de produto a flutuar pode ser calculada a partir da estimativa da espessura da película e da área.

Cálculo da espessura da película**a) A partir do volume de hidrocarbonetos derramado.**

Neste método, normalmente aplicado a “crudes”, é necessário conhecer-se:

- i. a quantidade derramada inicialmente;
- ii. produto derramado:
 - constante para o cálculo
 - peso específico
 - tempo decorrido

É de aplicação possível nas primeiras horas após um derrame, enquanto a velocidade de espalhamento se mantém elevada e não se verificam grandes alterações nas características de fluidez dos hidrocarbonetos pela cristalização das parafinas, perdas das fracções ligeiras e formação de emulsões inversas (Duarte, 1998).

$$e_t = \left(\frac{V}{3.1416} \right)^{1/2} \times \left(\frac{da}{3do(da - do)Kt} \right)^{2/3} \quad (12)$$

e_t = espessura da película no instante t , em cm

t = tempo de espalhamento, em segundos

V = volume do hidrocarboneto derramado, em cm^3

da = densidade da água, em g/cm^3

Para o oceano atlântico com temperatura média de 15° :

$$da = 1.026 g/cm^3$$

do = densidade do crude derramado, em g/cm^3

K = constante específica do hidrocarboneto (valor tabelado).

b) Por observação visual da película

Na tabela 3.5 apresentam-se valores da espessura da película em função do seu aspecto visual.

Tabela 3.5-Valores para determinação da espessura de partícula (API, 1982)

Aparência da Película	Espessura da película (10 ⁻³ mm)	Quantidade de óleo para a película de 1km ² em área	
		(Litros)	(Tons.)
Difícilmente visível, mesmo nas condições de luz mais favoráveis	0.05	50	0.04
Visível, com aparência prateada	0.10	100	0.08
Traços coloração observáveis	0.15	150	0.12
Bandas coloridas brilhantes	0.30	300	0.24
Cores a escurecerem	1.0	1 000	0.80
Cores mais escuras	2.0	2 000	1.60

Acima de 2.0×10⁻³ mm as colorações são castanhas a pretas e não permitem a determinação da espessura.

Determinação da Área

Se o hidrocarboneto se espalhasse uniformemente numa área sem descontinuidades as dificuldades de avaliação da área resultariam do modo como se efectuam as medições da envolvente da zona atingida.

Devido á existência de descontinuidades na mancha, a determinação da área complica-se ainda mais. No entanto, é possível obter-se alguns resultados utilizando os seguintes procedimentos:

- Estimar uma envolvente com a forma aproximada de um quadrado e determinar o comprimento dos lados sabendo que:

$$\text{Espaço} = \text{Velocidade} \times \text{Tempo}$$

Assim o comprimento dos lados, em milhas, pode ser avaliado iniciando uma contagem de tempo no início da zona com derrame que finalizará quando ele cessar.

Conhecendo a velocidade do navio ou avião, em nós, bastará aplicar a seguinte fórmula:

$$\text{Extensão}_{(\text{milhas})} = \text{velocidade}_{(\text{nós})} \times (t_{(\text{segundos})} / 3600) \quad (13)$$

Efectuando nova determinação em direcção perpendicular obtêm-se os elementos necessários para determinar uma área envolvente.

A área do derrame é então calculada aplicando a seguinte fórmula:

$$\text{Área do derrame} = \text{Área envolvente} \times \text{Percentagem da cobertura} \quad (14)$$

3.6 Comportamento dos hidrocarbonetos no Litoral

Falésias, Penhascos, Rochas e Estruturas Artificiais

Os hidrocarbonetos são muitas vezes transportados, pela ondulação do mar, para locais muito próximos de falésias e de zonas rochosas, podendo em algumas situações acumular-se sobre superfícies porosas ou rugosas. Nas zonas inter-marés, os hidrocarbonetos depositam-se nos espaços entre rochas podendo inclusivamente vir a cobri-las. Estes hidrocarbonetos, regra geral, são rápida e facilmente removidos pela acção mecânica da ondulação em zonas abertas e com maior dificuldade e mais lentamente em zonas abrigadas (ITOPF, 1986).

Calhaus Rolados e Pedras

A penetração dos hidrocarbonetos aumenta com a dimensão dos calhaus e pedras. Em zonas expostas a forte acção da ondulação as superfícies dos calhaus e pedras são rapidamente limpas por abrasão enquanto que os hidrocarbonetos depositados entre eles podem persistir por longo período de tempo. Os hidrocarbonetos de baixa viscosidade podem ser removidos das praias pelo movimento natural das águas (ITOPF, 1986).

Areia

A grande penetração dos hidrocarbonetos nas praias de areia é muitas vezes função da granulometria da areia, da profundidade da camada freática e das características de drenagem da praia. As praias de areia grossa têm geralmente um declive mais acentuado drenando mais as águas no período da baixa-mar, o que provoca uma certa penetração dos hidrocarbonetos, sobretudo os de baixa viscosidade. Os hidrocarbonetos são normalmente concentrados próximo do período da preia-mar. As areias de grão fino associam-se muitas vezes ao perfil de praias mais planas que ficam molhadas durante todo o período inter-marés de tal modo que a penetração de hidrocarbonetos é relativamente diminuta. Contudo, parte dos hidrocarbonetos podem penetrar na areia quando expostos, por exemplo, à rebentação das ondas durante mau tempo (ITOPF, 1980).

Lamas e Lodos (sapais, pântanos, praias lodosas)

Os ambientes de fraca energia são muitas vezes cobertos por grandes quantidades de lodo. Os hidrocarbonetos penetram muito pouco no substrato uma vez que o sedimento já se encontra normalmente bem impregnado de água persistindo, por esse facto, os hidrocarbonetos à superfície durante longos períodos.

Se o derrame se verifica na altura de mau tempo, neste caso os hidrocarbonetos poderão infiltrar-se no sedimento e aí persistirem indefinidamente. As tocas dos animais e as raízes da flora podem igualmente facilitar a penetração dos hidrocarbonetos (ITOPF, 1992).

Na tabela 3.6 apresentam-se os elementos de identificação do grau de vulnerabilidade dos diferentes tipos de litoral.

Tabela 3.6- Elementos de identificação do grau de vulnerabilidade dos diferentes tipos de litoral
(D' OZOUVILLE 1981).

TIPOS DE LITORAL	ACUMULAÇÃO DOS HIDROCARBONETOS	DURAÇÃO DA POLUIÇÃO
Zonas de Elevada Energia		
Costas rochosas e rugosas	• Parte superior de praias com declive	Alguns meses
Praias de areia fina a média	• Interestratificação no sedimento • Migração lenta em profundidade	1 a 2 anos
Praias de areia grossa a cascalho	• Interestratificação no sedimento • Migração rápida em profundidade	1 a 3 anos
Praias de calhaus rolados, pedras e área de pedregulhos	• Migração rápida dos HCs em profundidade; poucos ou nenhuns sedimentos à superfície	3 a 5 anos
Zonas de Fraca Energia		
Costas rochosas	• Acumulação dos HCs nas cavidades das rochas • Rochas cobertas com uma fina película	3 a 5 anos
Praias de areia fina a média	• Percolação em profundidade • Poluição da zona de baixa-mar pelas marés (mistura dos HCs e dos sedimentos finos) • Formação à superfície de uma camada endurecida passado um ano	> 5 anos
Praias de areia grossa a cascalho	• Percolação rápida em profundidade • Formação de uma camada endurecida passado um ano	> 5 anos
Praias de calhaus rolados	• Percolação rápida em profundidade até ao substrato • Formação de uma crosta de calhaus rolados e de HCs passado um ano	> 5 anos
Estuários e charcos de maré com sedimentos lodosos	• Percolação em profundidade devido aos organismos escavadores e aos movimentos da água na zona inter-marés	> 10 anos
Pântanos marítimos	• Inscruções à superfície	> 10 anos

3.7 Determinação Expedita da Deriva de um Derrame de Hidrocarbonetos ou de outras Substâncias Perigosas.

Concawe (1983), na ausência de um modelo matemático para o cálculo da deriva de um derrame de hidrocarbonetos baseado nos efeitos conjuntos da corrente e do vento propõe a utilização das seguintes regras (figura 3.5):

- Na ausência de vento os hidrocarbonetos movem-se na mesma direcção e sentido e à mesma velocidade que a corrente;
- A agitação marítima tem pouca influência na deriva, sendo importante contudo no seu espalhamento.

Com vento, a película fracciona-se em retalhos longilíneos orientados no sentido do vento e desloca-se segundo a resultante de duas forças:

- ❑ 100% da força da corrente
- ❑ 3% da força do vento

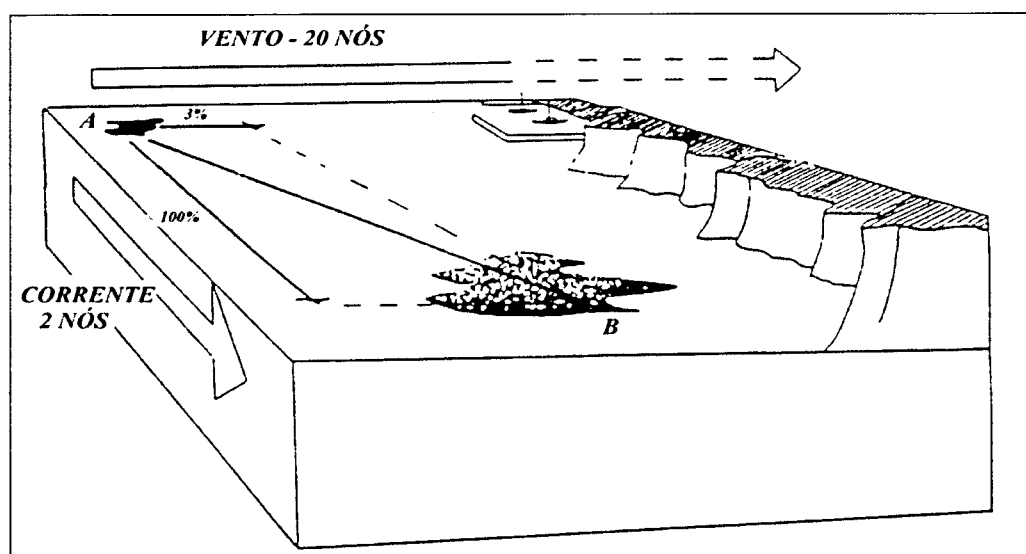


Figura 3.5–Movimento dos hidrocarbonetos em função do vento e da corrente
(Concawe, 1983)

Nós = Velocidade (milhas/hora), um nó = 1.609 km/h

4. RECUPERAÇÃO DE DERRAMES ACIDENTAIS DE HIDROCARBONETOS

Quando as autoridades competentes confirmam o derramamento de petróleo na costa marítima deve-se imediatamente organizar uma equipa de resposta. Esta terá uma composição determinada em função da dimensão da mancha do petróleo derramada, da sua evolução e do seu “impacte” na linha costeira afectada.

Geralmente, a equipa de especialistas, com um núcleo de coordenação, deve ser composta por ecologistas, técnicos para a reabilitação de aves, de comunicação social e de armazenamento, mergulhadores, técnicos de transporte marítimo e aéreo, químicos, biólogos e outros cujas funções se prendem com a defesa e preservação do ambiente (Concawe, 1981).

Devem ainda ser acompanhados por equipas do suporte tais como técnicos de saúde que garantirão os primeiros socorros caso haja acidentes, etc..

Os objectivos principais da equipa de trabalho são:

- ⇒ identificação e localização do acidente;
- ⇒ previsão da sua evolução;
- ⇒ possibilidade de controlo do derrame;
- ⇒ limitação da mancha;
- ⇒ recuperação dos hidrocarbonetos;
- ⇒ utilização de tratamentos químicos (se aplicável);
- ⇒ limpeza do litoral;
- ⇒ armazenamento;
- ⇒ transporte;
- ⇒ destino final dos produtos.

Para a mitigação das consequências de um derrame de grande dimensão e com vista a evitar perda de tempo nas primeiras horas, torna-se necessário organizar um vasto plano de resposta a vários níveis tendente a entrar em funcionamento imediato.

Para o cumprimento deste plano deve-se ter em conta os seguintes factores:

- ☐ vigilância;
- ☐ comunicação;
- ☐ avaliação do derrame;
- ☐ contactos governamentais;
- ☐ relações públicas;
- ☐ apoio jurídico;
- ☐ seguros;
- ☐ reclamações;
- ☐ decisões de controlos;
- ☐ coordenação de auxílios.

Na figura 4.1 está representada a interacção entre os principais grupos intervenientes após um derrame de petróleo.

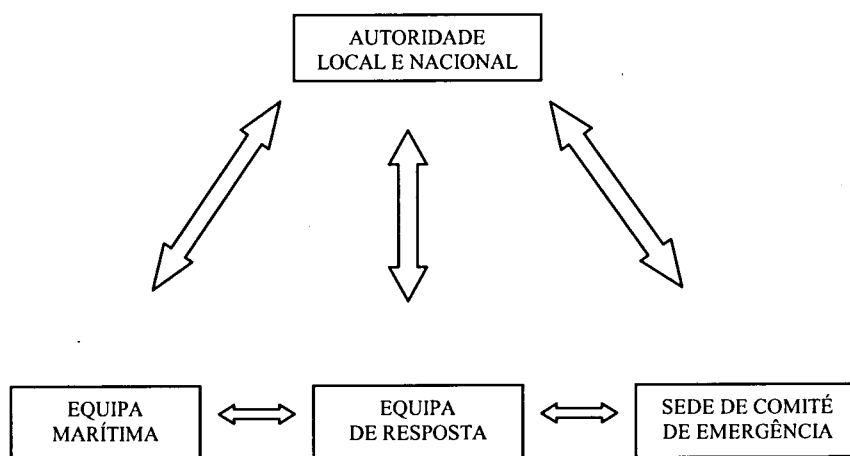


Figura 4.1- Principais grupos intervenientes após um derrame de petróleo na costa marítima (Concawe, 1981).

No estabelecimento da base e na preparação de técnicas bem como dos equipamentos a serem utilizados, torna-se imprescindível uma observação profunda das evoluções da mancha.

Utilizam-se helicópteros ou outros meios aéreos, se as condições atmosféricas o permitirem, para o reconhecimento e a fiscalização da mancha. O uso de barcos pode tornar a operação difícil e lenta se a visibilidade for limitada ou as condições de mar não forem favoráveis. Podem dar informações úteis sobre as características do produto derramado.

Existem normalmente três hipóteses que dependem do estado em que se encontra a mancha:

1. Quando a mancha estiver espalhada na superfície do mar, procede-se à operação de recolha;
2. Quando a mancha estiver à superfície e um pouco abaixo, pode-se efectuar a operação de limpeza (com o uso de barreiras flutuantes para conter a mancha);
3. Quando o derrame é um pouco mais complexo, pode-se optar pelo tratamento químico com dispersante, aliás muito controverso como se verá adiante (ITOPF, 1987).

Refere-se em seguida o equipamento necessário à realização desta operação:

- ⇒ Bombas, lanchas costeiras e tanques de armazenamento, bóias, tubos flutuantes e geradores de gás inerte para bombear para o interior dos navios.
- ⇒ Barreiras flutuantes e rebocadores para contenção (retenção) da mancha.
- ⇒ Recuperadores (skimmers) e barcaças para armazenamento (tanques flutuantes), destinados à recuperação na superfície do mar.
- ⇒ Tanques, equipamento de pulverização, barcos ou aviões, com finalidades de aplicação de tratamentos químicos.
- ⇒ Camiões-Cisterna (reservatórios), tanques de armazenamento intermédios, bombas e filtros para abastecimento de combustível.
- ⇒ Aparelho para medir a velocidade e direcção do vento, recipientes para recolha de amostras, câmaras fotográficas e equipamentos de vídeo para vigilância (Concawe, 1981).

4.1 Barreiras

As barreiras físicas e mecânicas são dispositivos flutuantes especialmente concebidos para o controlo dos hidrocarbonetos à superfície do mar, bem como dos detrito neles incorporados.

Geralmente as barreiras têm como finalidades principais (Borrego *et al.*, 1994):

- ⇒ Retardar ou contrariar o espalhamento dos hidrocarbonetos.
- ⇒ Conter um derrame próximo da sua fonte.
- ⇒ Isolar ou proteger locais específicos, tais como praias, canais, docas, tomadas de água para a indústria, locais de desova e de reprodução de espécies.
- ⇒ Concentrar ou deflectir as camadas de hidrocarbonetos por forma a facilitar ou proporcionar a sua recolha.
- ⇒ Armazenar temporariamente os produtos para recolha posterior.

Para avaliar a eficácia de uma barreira, tendo em vista a sua utilização para as finalidades acima referidas, terão de ser perfeitamente identificados os factores que afectam a sua acção, designadamente as condições ambientais e as características do produto a tratar, local de utilização, conhecer os tipos disponíveis e suas características, determinar como atingir o mais elevado rendimento possível e ter em conta as limitações para o seu uso em determinados locais (IMO, 1988).

Elementos das Barreiras

Segundo o Lassere (1974) as barreiras existentes variam consideravelmente em tipo e dimensões, mas em todas as concepções são comuns os seguintes elementos básicos:

- Elemento de flutuação (flutuador)
- Elemento de retenção de hidrocarbonetos (saia)
- Lastro
- Elemento de tensão (resistência longitudinal)
- Pontos de ancoragem
- Âncoras
- Elementos de união

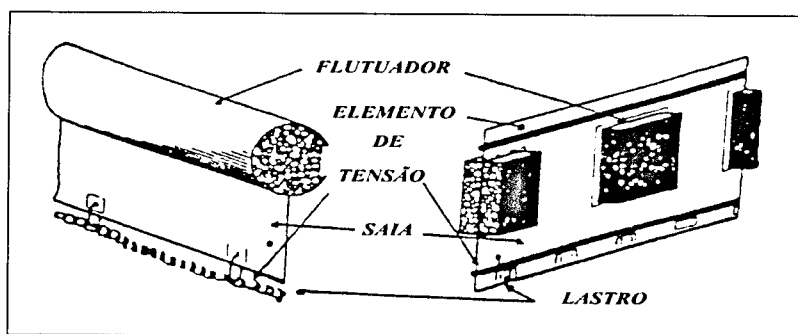


Figura 4.2- Elementos de construção das barreiras (ITOPF, 1981).

4.1.1 Classificação e Características Gerais das Barreiras

Quanto à sua natureza, as barreiras podem ser classificadas como barreiras químicas (produtos tensoactivos), físicas (pneumáticas) e mecânicas (flutuantes). Dentro das barreiras mecânicas pode-se distinguir as do tipo barreira e do tipo cortina com flutuação sólida ou insufláveis.

Quanto ao modo de utilização as barreiras podem ser consideradas como estáticas (fixas em relação ao meio) e dinâmicas (rebocadas por embarcações).

Em função do local de utilização, consideram-se as barreiras de rio, portuárias, costeiras e de alto mar.

Quanto ao material de que são constituídas podem classificar-se em barreiras flexíveis, semi-flexíveis e rígidas.

As barreiras flexíveis não resistem à mudança de configuração resultante do movimento da superfície da água.

As semi-flexíveis seguem a configuração da superfície da água com alguma resistência.

As rígidas conservam a sua configuração primitiva face à agitação da água e das ondas.

A maioria das barreiras comerciais pertence ao grupo das semi-flexíveis, havendo um compromisso entre a elasticidade da barreira e a sua resistência.

A mais importante característica de uma barreira é a sua capacidade de contenção dos hidrocarbonetos à superfície do mar, determinada pelo seu comportamento em relação ao movimento das águas.

Deve ser flexível para se adaptar à ondulação e suficientemente rígida para reter a máxima quantidade de produto.

A dimensão e o comprimento das quarteladas que constituem uma barreira são igualmente características importantes. O comprimento ideal está relacionado com o estado do mar. No que respeita à altura da barreira, deverá ser garantido um bordo mínimo por forma a evitar a passagem dos hidrocarbonetos através da sua parte superior e uma saia com altura próxima da do bordo livre.

As quarteladas de pequeno comprimento, além de facilitarem o manuseamento da barreira, possibilitam a manutenção da sua integridade, como um todo, no caso de cedência de alguma das quarteladas. Estas vantagens têm um senão, que é a dificuldade de que se reveste a ligação das quarteladas entre si de uma maneira eficaz. A concepção das uniões deve ser de modo a permitir uma fácil e rápida operação.

Outras características importantes das barreiras são a sua resistência e robustez, fácil e rápida utilização, fiabilidade, peso e custo. Deverão ser suficientemente robustas por forma a poderem ser manuseados por pessoal que desconheça ou que esteja pouco familiarizado com este tipo de equipamento e possuírem uma resistência tal que suporte as forças da água e do vento que sobre elas se fazem sentir ou quando rebocadas.

O material de construção das barreiras deve ser resistente à rotura e desgaste, bem como à água, aos hidrocarbonetos, temperatura ambiente e raios solares e ser suficientemente durável em condições normais de armazenagem. Algumas barreiras são constituídas em materiais resistentes ao fogo (ITOPF, 1981).

4.1.2 Tipos de Barreiras e suas Principais Características

Segundo o ITOPF (1981) os tipos de barreiras e suas principais características são os seguintes:

a) Barreira Semi-Flexível

Este tipo de barreira consiste numa placa ou parede única, constituindo o bordo livre e saia. A barreira é mantida a flutuar na posição vertical por meio de flutuadores em ambas as faces e pesos colocados na parte inferior, regularmente distanciados entre si.

São geralmente robustas, facilmente armazenadas, de lançamento rápido, de fácil limpeza e, embora volumosas, necessitam de menor cubicagem de armazenagem do que as de flutuação sólida. Embora medianamente resistentes, em função do material de fabrico, não oferecem grande confiança em presença de vento forte e mar agitado, principalmente quando utilizados grandes comprimentos.

A barreira, que deverá ser utilizada de preferência fixa, tem uma velocidade de escape relativamente baixa devido à turbulência causada pelos flutuadores e razoável comportamento na ondulação.

b) Barreira de tipo Cortina com Flutuação Sólida (Borrego *et al.*, 1994; ITOPF, 1981)

A saia da barreira, em material resistente à água e óleo e com lastro de pesos, é suportada pelo flutuador normalmente cheio com espuma plástica expandida.

Para facilitar o seu manuseamento, a barreira é normalmente fornecida em quarteladas de 15 a 25 m, ligadas por uniões rápidas.

Este tipo de barreira tem como vantagens a manutenção da flutuação no caso de se verificarem alguns danos na sua estrutura, o que não sucede com as barreiras insufláveis, robustez e fácil lançamento e limpeza.

Apresenta como desvantagens a necessidade de grande espaço de armazenagem e a possibilidade de ocorrerem deformações durante o período de imobilização. Utilizada de preferência fixa, esta barreira comporta-se relativamente bem face à ondulação e vento.

c) Barreira de tipo Cortina Insuflável

Este tipo de barreira é constituído por uma câmara ou tubos insufláveis em que o ar, na maior parte dos modelos, é fornecido por um ventilador de baixa pressão. Alguns modelos possuem molas na parte interna da câmara de flutuação e válvulas de não retorno que permitam a sua auto-insuflagem.

Algumas barreiras de grandes dimensões possuem um sistema de flutuação independente, por forma a mantê-las à superfície da água durante a operação de lançamento.

A saia deste tipo de barreiras pode ser constituída por uma cortina vertical com lastro e sistema de tracção constituídos por uma corrente ao longo da parte inferior da saia e com pontos de ancoragem regularmente distanciados ou então constituído por um lastro de secção tubular cheio com água em que não existem pontos de ancoragem mas sim pegadas de reboque nas duas extremidades. No primeiro caso, são utilizadas preferencialmente fixas e, no segundo, rebocadas.

Uma variante destas barreiras consiste num modelo constituído por quarteladas de grande comprimento e com poucas uniões, normalmente em imersão e assentes no fundo do mar, sendo insufladas quando necessário por forma a permitir a sua vinda à superfície.

As barreiras insufláveis, possuindo uma velocidade de escape moderada, têm como vantagens o reduzido volume de armazenagem, fáceis lançamento e limpeza e bom comportamento na ondulação. Como desvantagens poderemos citar a sua propensão para a ocorrência de descarga ou rupturas, o que pode originar a sua perda de flutuação e ainda dilatado tempo para lançamento, a menos que sejam auto-insufláveis.

d) Barreira de tipo Pneumática

Este tipo de barreira é constituído por uma cortina formada por bolhas de ar que se desenvolvem ao longo da coluna de água no sentido ascendente, a partir de tubos assentes no leito do mar, providos de orifícios calibrados e regularmente distanciados entre si e alimentados por meio de um compressor de ar de alta capacidade instalado em terra.

O movimento das bolhas de ar no sentido ascendente gera um fluxo de água no mesmo sentido que diverge horizontalmente à superfície. Este fenómeno provoca uma corrente em dois sentidos opostos, susceptível de conter os hidrocarbonetos desde que as correntes de superfície tenham uma velocidade muito reduzida.

Esta barreira, para instalação permanente em águas calmas, tem como vantagens a não obstrução do tráfego dos navios e a sua fácil activação. Como desvantagens apontam-se o seu elevado custo e uma eficácia muito baixa em águas profundas e em correntes fortes, além de estarem sujeitas a obstruções por lamas, lodo ou sedimentos (Borrego *et al.*, 1994).

e) Outros tipos de Barreiras

Existem ainda os seguintes tipos de barreiras de concepção especial:

- ⇒ Barreira constituída por uma rede especialmente concebida para proporcionar a retenção de hidrocarbonetos muito viscosos.
- ⇒ Barreira rebocada incorporando um sistema onde os hidrocarbonetos são contidos e bombados para a embarcação que opera a barreira.
- ⇒ Barreira com os pontos de ancoragem e de reboque localizados nas extremidades do elemento de tensão separados da barreira e a ela ligados por cabos.

Esta concepção faz com que seja aliviado o esforço exercido sobre a barreira e melhorada a sua sustentação no mar. Tem uma elevada velocidade de escape, bom comportamento na ondulação, robustez média, moderado volume de armazenamento e baixo peso.

Forças Exercidas sobre as Barreiras (Concawe, 1981)

Para calcular a força aproximada F_c (kg), exercida numa barreira fixa, com uma área imersa A_i (m^2), por uma corrente de velocidade V_c (nós) pode ser usada a seguinte expressão:

$$F_c = K \times A_i \times V_c^2 \quad (15)$$

A K ($0.5 \times$ massa volúmica do fluido $\times$ coeficiente de forma) é atribuído o valor de 26, podendo para certas barreiras ser inferior. Julga-se, no entanto, adequado utilizar $K = 26$.

A força F_v (kg) exercida pelo vento directamente no bordo livre A_e da barreira pode também ser significativa e para a calcular pode ser utilizada a expressão a seguir indicada:

$$F_v = K \times A_e \times \left(\frac{V_v}{40} \right)^2 \quad (16)$$

Esta expressão resulta do facto de se admitir em primeira aproximação, que uma corrente de uma determinada velocidade e vento de velocidade 40 vezes superior criam pressões iguais, pelo que a velocidade do vento V_v deve ser dividida por 40; à constante K é atribuído o mesmo valor de 26.

Se a corrente e o vento actuarem na mesma direcção (condição mais desfavorável) as forças combinadas serão:

$$F = F_c + F_v \quad (17)$$

As barreiras devem ser colocadas de modo a formarem um ângulo agudo com o eixo do fluxo da corrente, o que conduz à redução da força sobre elas exercida.

Quanto uma barreira estiver a ser rebocada a uma determinada velocidade V à superfície da água, para o cálculo da força exercida poderá ser utilizada a expressão (16), entrando com o valor de V na fórmula.

4.1.3 Comportamento das Barreiras (ITOPF, 1986).

A eficácia de uma barreira é largamente afectada por ventos, ondas e correntes, podendo em certas circunstâncias os hidrocarbonetos escapar-se por cima (bordo livre) ou por baixo (saia) da barreira (Figura 4.3).

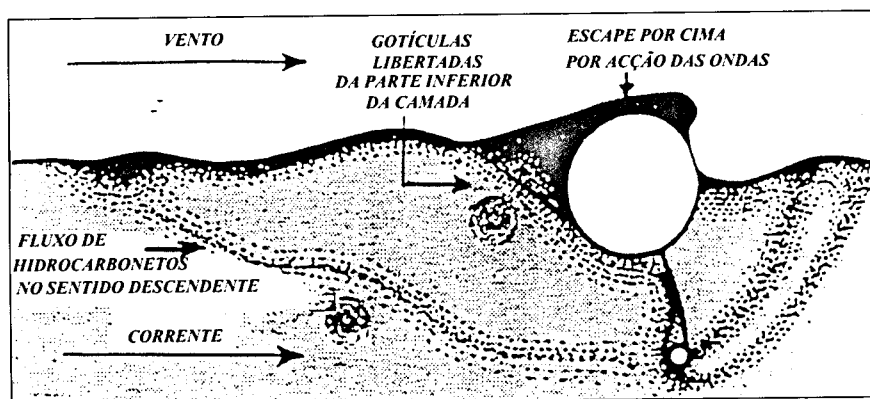


Figura 4.3- Comportamento das barreiras em função de vento, ondas e correntes (ITOPF, 1986).

Os ventos e a ondulação são responsáveis pela primeira situação enquanto que, pela segunda, são as correntes. Na prática tem-se verificado que as barreiras perdem a sua eficácia em presença de ventos de intensidade superior a 20 nós, podendo mesmo ocorrer avarias na sua estrutura com ventos entre 20 e 40 nós. Estes fenómenos tanto sucedem com barreiras na situação de fundeadas como ao serem rebocadas.

Os principais parâmetros que determinam a eficácia de uma barreira são o seu comprimento, a sua resistência e rigidez longitudinal e o bordo livre. Importantes também são os materiais de construção da barreira e o seu comportamento na água.

As correntes, devido à sua velocidade e direcção, são uma das causas principais que contribuem para a ineficácia das barreiras. À medida que a corrente diminui, o volume de hidrocarbonetos contidos mantém uma certa estabilidade. Quando aumenta, a película concentra-se atingindo a "velocidade crítica" e, em consequência, os hidrocarbonetos passam sobre a barreira.

Esta "velocidade crítica", que varia com a viscosidade e densidade dos produtos, situa-se normalmente à volta de 0.7 nós (0.35 m/s) com a corrente perpendicular à barreira e, em locais de pouca altura de água (inferior a 5 vezes o calado da barreira), dá-se uma aceleração da corrente que levará à ocorrência prematura do fenómeno. De um modo geral, as barreiras apenas se revelam eficazes para valores de correntes situados entre 0.5 e 1.5 nós.

Dado que o aumento da saia não resolve o problema, a única maneira será posicionar a barreira por forma a formar um ângulo agudo com a direcção da corrente. Poderá ser utilizada, a título de orientação a tabela seguinte (Tabela 4.1).

Tabela 4.1-Posição da barreira em função do ângulo com a direcção da corrente
(Concawe, 1981)

Corrente		Ângulo da Barreira (graus)
nós	m/s	
0.7	0.35	90
1.0	0.5	45
1.5	0.75	28
2.0	1.0	20
2.5	1.25	16
3.0	1.5	13

Por outro lado, por acção de correntes fortes, a saia será inclinada diminuindo por conseguinte a sua capacidade de retenção. O ângulo de inclinação numa dada corrente dependerá de parâmetros construtivos da barreira, tais como a altura da saia e o peso do lastro. A título de exemplo tem sido constatado que uma inclinação da ordem dos 15° pode dar lugar à perda de 50% da capacidade de retenção e velocidades de correntes entre 4 e 6 nós poderão causar danos na estrutura das barreiras.

Se a barreira não acompanhar suavemente a ondulação poderá ter tendência para submergir possibilitando assim a fuga dos hidrocarbonetos por cima dela.

Por esse facto as ondas desempenham um papel importante no comportamento das barreiras. Quer devido à sua altura quer à sua frequência, face à construção e flexibilidade das barreiras, diversas situações se poderão apresentar sem que para elas exista uma regra única:

- ⇒ Ondulação larga - desde que a barreira seja flexível não causará qualquer problema a menos que a ondulação seja excessivamente alta.
- ⇒ Ondulação média - a menos que a barreira seja muito flexível existe forte probabilidade dos hidrocarbonetos passarem por cima da barreira com ondas de altura a 3 metros.
- ⇒ Ondas de período curto - são produzidas em águas confinadas causando excessiva turbulência no topo da barreira, com a ajuda do vento, podendo provocar a passagem dos hidrocarbonetos por cima.

Embora as ondas de longo período (relação comprimento/altura superior a 8/1) não influenciem o comportamento das barreiras no caso destas possuírem suficiente flexibilidade, as ondas de período curto (relação comprimento/altura de 4/1 ou menor) podem causar a passagem dos hidrocarbonetos por cima da barreira. Esta ondulação é típica de áreas confinadas.

A única via para ultrapassar esta contrariedade é aumentar o bordo livre da barreira, o que significa mais tempo e dificuldades para o seu manuseamento.

De um modo geral, dependente do comprimento da onda, as barreiras apenas se revelam eficazes para alturas de ondas compreendidas entre 0.3 e 1.5 metros. Por outro lado, ondas com alturas entre 2 e 3 metros poderão provocar avarias nas barreiras.

Escape dos Hidrocarbonetos através das Barreiras (ITOPF, 1986).

A camada de hidrocarbonetos pode escapar-se através da barreira pelas extremidades, por cima e por baixo. Nos dois primeiros casos poderá o problema ser resolvido em linha de conta com o comprimento e bordo livre da barreira.

No terceiro caso, aquele que regra geral mais interfere com a eficácia de uma barreira, constata-se que o volume dos hidrocarbonetos contidos toma a forma representada na Fig. 4.4.

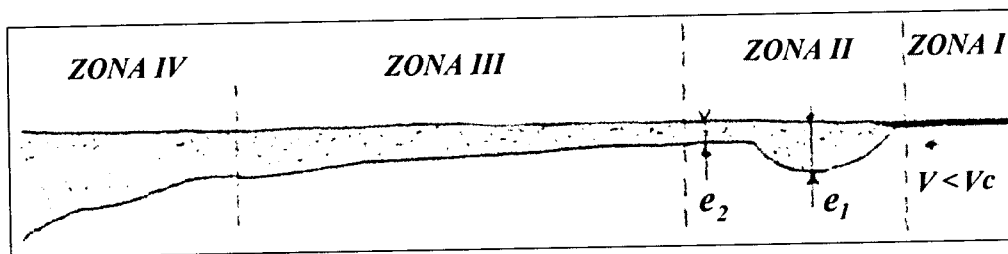


Figura 4.4 -Escape dos hidrocarbonetos através da barreira (ITOPF, 1986).

Na zona I, a mais afastada da barreira, verifica-se uma camada de hidrocarbonetos de espessura muito reduzida, espalhada por uma enorme superfície.

Na zona II, a camada de hidrocarbonetos contidos pela barreira apresenta uma espessura dada pelos valores de e_1 e e_2 , sendo o valor de e_1 igual a cerca de 1.5 a 2.5 vezes o valor de e_2 . O comprimento desta zona é cerca de 7 vezes o valor de e_1 . A espessura e_2 poderá ser determinada através do equilíbrio entre as forças de inércia e de gravidade traduzido na seguinte igualdade:

$$\frac{1}{2} \rho_h V^2 = e_2 g (\rho_a - \rho_h) \quad (18)$$

onde: ρ_h e ρ_a representam, respectivamente, as massas volúmicas dos hidrocarbonetos e da água, g a aceleração da gravidade, em m/s^2 , e V a velocidade relativa da água em relação à barreira, em m/s .

Na zona III a acção da corrente e do vento sobre a camada de hidrocarbonetos conduz a um aumento da sua espessura, provoca uma corrente na camada e dá origem à formação de ondas na interface hidrocarbonetos/água (ondas de instabilidade d' Helmholtz).

Na zona IV, situada imediatamente a montante da barreira e com um comprimento de cerca de 5 vezes a altura da saia da barreira, verifica-se um substancial aumento da camada de hidrocarbonetos e a turbulência na massa de água, fenómenos não simultâneos e não sistemáticos.

O perfil da camada de hidrocarbonetos varia com a velocidade relativa entre a água e a barreira. No caso desta velocidade ser reduzida o volume de hidrocarbonetos mantém uma forma de certo modo estável. Com o aumento da velocidade verifica-se um aumento da espessura e uma diminuição da distância entre a onda frontal e a barreira. A partir do momento em que a velocidade atinge um valor crítico ("velocidade crítica") a profundidade da onda frontal e o efeito de turbulência associado dão lugar à libertação de gotículas de hidrocarbonetos da camada e ao seu arrastamento pela corrente (Fig. 4.5).

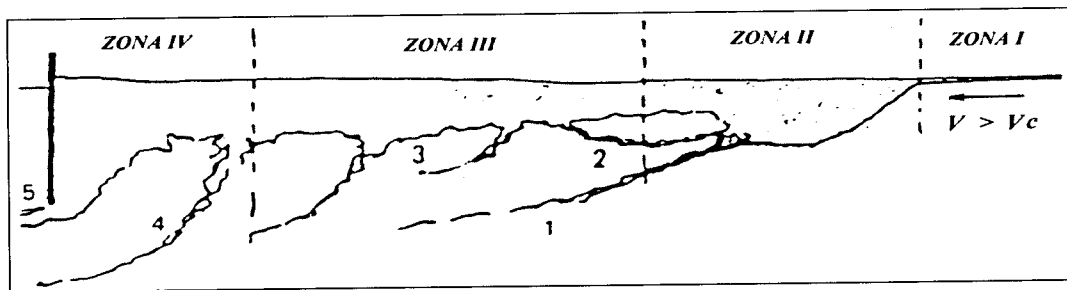


Figura 4.5-Variação da camada de hidrocarbonetos com a velocidade relativa entre a água e a barreira (ITOPF, 1986).

Legenda:

1. Gotículas arrancadas à onda frontal e arrastadas sob a barreira;
2. Gotículas de trajectória ascendente (coalescência);
3. Ondas de instabilidade d' Helmholtz;
4. Escoamento por turbilhão (efeito "vortex");
5. Escoamento por espessamento da camada contra a barreira.

4.1.4 Operação das Barreiras (ITOPF, 1983)

Modos de Utilização

O modo como se utiliza uma barreira ou como é seleccionada depende de múltiplos factores, tais como:

- ▣ Localização e dimensão e movimento do derrame
- ▣ Condições meteorológicas
- ▣ Condições hidrológicas
- ▣ Geometria do terreno e configuração do plano de água
- ▣ Prioridades de protecção

De acordo com estes factores as barreiras podem ser usadas para:

- ◆ Contenção
- ◆ Deflecção
- ◆ Protecção
- ◆ Recolha

A escolha da barreira adequada terá de ter em conta a análise ponderada dos factores enumerados, pelo que se passam a definir cada uma das funções que as barreiras podem desempenhar:

Contenção

As barreiras são lançadas de modo a que se impeça o espalhamento dos hidrocarbonetos à superfície da água, isto é , localizar o derrame próximo da sua origem. É importante dar início à recolha imediata dos hidrocarbonetos confinados, uma vez que a barreira apenas é capaz de impedir o seu movimento e fuga da área restrita durante um período limitado.

Este método pode ser usado com as seguintes finalidades:

- ▣ Conter os hidrocarbonetos derramados junto a sua origem.
- ▣ Impedir a recontaminação da costa por hidrocarbonetos, quer retidos em baías e enseadas, quer arrastados para fora durante operações de limpeza.

Deflecção

Este modo de utilização aplica-se quando se pretende desviar os hidrocarbonetos espalhados de uma área sensível (baía, enseada, entrada de porto, marina, praia, etc.) para um local de menor sensibilidade e mais adequado (correntes e configuração de terra) para recolha dos hidrocarbonetos. A barreira deve ser colocada de modo a fazer um determinado ângulo com a direcção do deslocamento dos hidrocarbonetos.

Protecção

Quando uma área especialmente sensível (ambiental, económica e tecnologicamente) tem de ser protegida da contaminação por hidrocarbonetos derramados à superfície das águas, são aplicadas barreiras de protecção. Neste caso torna-se igualmente necessário combinar a acção das barreiras com as operações de recolha.

Recolha

Este modo de utilização destina-se a promover a concentração dos hidrocarbonetos flutuantes à superfície da água com vista a facilitar a sua recolha e minimizar o seu espalhamento.

Para o pôr em prática terão de ser utilizadas embarcações para operar as barreiras.

A escolha das embarcações é muito importante dada a exigência, para este fim, de qualidades náuticas específicas e de velocidades muito reduzidas. Este método torna-se ineficaz se a capacidade de recolha dos hidrocarbonetos não corresponder ao grau de concentração.

Condições de Utilização

Utilização Estática em zonas Costeiras

A utilização de barreiras de modo estático em zonas costeiras, próximo da fonte de derrame (navio ou plataforma "off-shore"), só em condições excepcionais poderá ser posta em prática com eficácia face à agitação marítima e correntes.

A sua utilização é mais frequente próximo de terra, com a finalidade de proteger áreas sensíveis, tais como estuários, locais de reprodução de espécies, sapais, zonas de recreio e tomadas de água.

Face a um derrame de grandes proporções, não sendo possível, na maior parte dos casos, proteger todas as áreas sensíveis, há que avaliar correctamente aquelas que são susceptíveis de protecção e atribuir prioridades para o efeito. Por outro lado, deverá ser feita uma selecção do tipo de barreiras adequadas a cada situação e uma identificação dos pontos de ancoragem ou de fixação e dos locais de recolha dos hidrocarbonetos.

Em muitos casos é preferível usar as barreiras para deflectir o produto para zonas onde as águas se apresentam calmas por forma a facilitar a sua recolha, do que utilizá-las para a sua contenção.

Tendo em conta as forças que possam vir a ser exercidas sobre as barreiras há que prever e definir o número, tipo e peso dos ferros ou poitas para as fundear, bem como a secção e comprimento dos cabos de amarração, de modo a mantê-las nas posições correctas.

No caso das barreiras serem lançadas a partir de terra deverão ser utilizados dispositivos adequados para a sua fixação e, com elas instaladas, proceder aos ajustamentos necessários nos cabos de amarração por forma a que a barreira possa acompanhar a amplitude das marés (ITOPF, 1981).

Utilização Dinâmica no Alto Mar

Para evitar o espalhamento da camada de hidrocarbonetos derramados à superfície do mar, poderão ser usadas barreiras oceânicas de grande comprimento, na ordem dos 300 m ou mais, em forma de "U", "V" ou de "J", rebocadas por navios, a que será feita uma referência quando se abordar a operação de recuperadores de derrames no alto mar.

Sempre que seja usada a configuração em "U" deverá ser reduzido ao mínimo o número de quarteladas de barreira para evitar que o produto se escape através das uniões de acoplamento.

Para obviar a que se verifiquem deformações na configuração das barreiras ou para que elas não sejam sujeitas a destruição, deverão ser utilizados cabos de reboque suficientemente compridos.

De acordo com a API (1993) a velocidade de reboque, que depende da natureza dos hidrocarbonetos e do estado do mar, provocará uma força de tracção que pode atingir o valor de 10 a 15 t por cada 100 m de comprimento da barreira.

O volume de "varrimento" de uma barreira rebocada à velocidade de 1 nó, por exemplo, com uma abertura de 500 m e numa camada de hidrocarbonetos com uma espessura de 0.1 mm é de 90 m³/h e de 900 m³/h se a espessura for de 1 mm, podendo nestas condições a espessura média da camada contida pela barreira atingir um valor na ordem dos 10 cm.

Para a determinação teórica aproximada do débito de "varrimento", Q_v , poder-se-á utilizar a seguinte igualdade:

$$Q_v = Q_r + Q_{fb} + Q_{fe} + \Delta_c \quad (19)$$

em que:

Q_r = débito de recolha dos hidrocarbonetos

Q_{fb} = débito de fuga dos hidrocarbonetos por baixo da barreira

Q_{fe} = débito de fuga pelas extremidades

Δ_c = variação do volume dos hidrocarbonetos contidos pela barreira

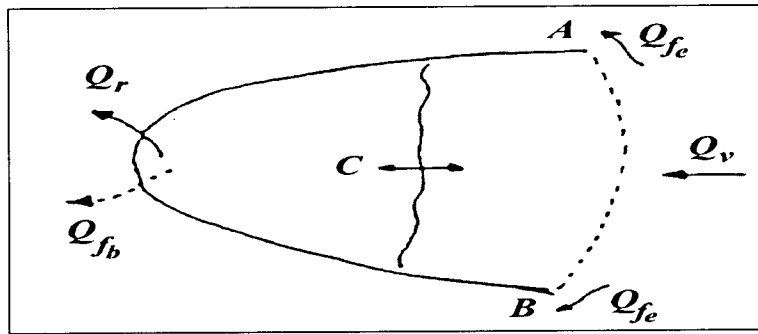


Figura 4.6-Uso de uma barreira no alto mar (API, 1993)

O rendimento de "varrimento", relação entre o volume de hidrocarbonetos contidos pela barreira e o volume de hidrocarbonetos encontrado, poderá ser traduzido pela seguinte relação:

$$\frac{Q_v - (Q_{fb} + Q_{fe})}{Q_v} \quad (20)$$

As velocidades limites de utilização aumentam com a viscosidade dos hidrocarbonetos e a tensão interfacial hidrocarbonetos/água e diminuem com a densidade dos hidrocarbonetos e a agitação marítima.

A espessura média da camada de hidrocarbonetos contida por uma barreira aumenta com o quadrado da velocidade relativa entre a barreira e a de hidrocarbonetos e diminui com a densidade dos hidrocarbonetos.

Técnicas de Lançamento

Segundo Duarte (1998), as técnicas de lançamento mais típicas e de maior utilização são as seguintes:

Em Forma de Círculo

Esta técnica, normalmente limitada a águas calmas ou áreas abrigadas, deverá ser utilizada imediatamente a seguir ao derrame de hidrocarbonetos, quando o débito de descarga é ainda reduzido e quando não se façam sentir corrente e ventos significativos.

A barreira é lançada em redor da fonte do derrame, deixando, se necessário, uma passagem suficiente para permitir o acesso às embarcações que eventualmente possam ser utilizadas na operação de recuperação.

O comprimento da barreira utilizada deverá ser, pelo menos, três vezes o comprimento da plataforma flutuante originária do derrame.

Quando se trata de uma fonte de poluição terrestre ou mesmo no caso de um navio de um certo porte, a linha de terra ou o casco do navio poderão considerar-se como constituintes de parte da barreira.

Em Sector Circular

Esta técnica é geralmente usada em derrames de grandes proporções, sempre que não se disponha de suficiente número de quarteladas de barreira ou quando se torna difícil formar um círculo devido ao vento e corrente.

As barreiras são dispostas a uma certa distância da fonte do derrame por forma a interceptar os hidrocarbonetos que delas se aproximam.

Em locais onde se faça sentir a corrente de maré é aconselhável lançar uma segunda barreira, antes da inversão do sentido da corrente, paralelamente à primeira e situada no lado oposto ao da fonte do derrame.

Em Canais e Rios

Em canais ou rios estreitos poderá ser evitado o espalhamento dos hidrocarbonetos mediante o lançamento de barreiras em ângulo apropriado a partir das margens, cuja abertura será função da velocidade da corrente.

Esta técnica deverá prever uma abertura entre as extremidades das barreiras situadas no eixo do canal ou rio, por forma a permitir a passagem do tráfego marítimo.

Deverão ser tomadas medidas cautelares para evitar que os hidrocarbonetos se escapem através das extremidades ligadas aos pontos de fixação das barreiras em terra, tendo em conta a amplitude das marés.

Em Deflecção

Caso as condições não permitam que o derrame possa ser contido no local do incidente, os hidrocarbonetos deverão ser desviados de áreas sensíveis ou conduzidos para zonas adequadas à sua recolha. Para o efeito, as barreiras deverão ser dispostas por forma a formar um ângulo apropriado com o sentido do fluxo da corrente.

Rebocadas

Sempre que a intensidade do vento ou a velocidade da corrente sejam muito elevadas, ou no caso dos hidrocarbonetos se encontrarem já muito dispersos, não permitindo que a contenção se faça de modo estático, as barreiras poderão ser rebocadas a baixa velocidade, normalmente inferior a 1 nó. Esta técnica é preferencialmente utilizada no alto mar e corresponde ao modo de utilização dinâmica atrás referido.

Em Deriva Livre

No caso da velocidade da corrente ser muito elevada ou em locais de águas de tal modo profundas que não permitam que as barreiras sejam fundeadas, poderá tentar-se circundar os hidrocarbonetos por meio de barreiras flutuando livremente enquanto se processa a recolha do produto.

A velocidade da deriva das barreiras poderá ser reduzida mediante a utilização de âncoras de alto mar, quarteladas de corrente ou outros materiais conforme a profundidade das águas. Na figura 4.7 apresentam-se o uso de barreiras em águas profundas com velocidade da corrente muito elevada.

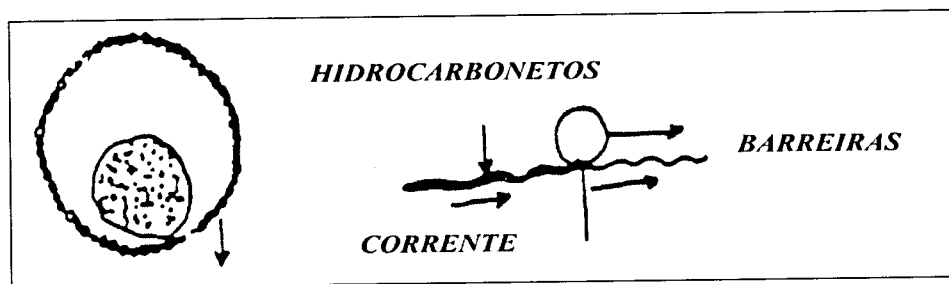


Figura 4.7-Uso de barreiras em águas profundas com velocidade da corrente muito elevada (Duarte, 1994)

Em Fiadas Múltiplas

Se os hidrocarbonetos tiverem tendência a escaparem-se através de uma barreira, poderá tornar-se necessário proceder ao lançamento de duas ou mais fiadas de barreiras em reforço da primeira, separadas entre si por distâncias adequadas.

No caso da velocidade da corrente ser de tal modo elevada que provoque a inclinação das barreiras, a distância entre elas deverá situar-se entre 1 e 5 metros por forma a que os hidrocarbonetos sejam retidos pelas barreiras secundárias.

Em Forma de Malha

Esta técnica de lançamento inclui a utilização de uma barreira à qual são ligadas redes, colocadas em relação à barreira no sentido da corrente, suportadas por bóias com âncoras e pesos. Esta técnica faz com que a tensão sobre a barreira seja aliviada e a sua capacidade de retenção melhorada.

No caso da presença de bolas de alcatrão ou de materiais que flutuem na coluna de água nas proximidades de tomadas de água ou áreas sensíveis, a sua protecção poderá ser assegurada por esta técnica ligando redes à saia da barreira, prolongadas até ao leito do mar. Poderá igualmente ser utilizada nas proximidades de praias onde, depois de limpas, se tenha verificado o ressurgimento daquele tipo de detritos.

Em Zonas Portuárias

Os locais com maiores riscos de derrames de hidrocarbonetos numa zona portuária são normalmente bem conhecidos. Nestas condições, qualquer porto deverá estar preparado para esta eventualidade colocando na água barreiras permanentes ou mantendo-as prontas para lançamento, quer nos próprios locais quer nas suas proximidades, desde que possam ser fácil e rapidamente transportadas.

Ainda que alguns portos nacionais apresentem correntes de intensidade assinaláveis, regra geral os portos são zonas de correntes não muito intensas.

As barreiras de dimensões médias revelam-se adequadas para estes locais, podendo haver necessidade do recurso à utilização de pequenas embarcações para a sua operação.

Junto de terminais ou refinarias, face aos riscos de incêndios dos produtos derramados, poderá ser prevista a utilização de barreiras metálicas anti-fogo.

No caso das barreiras terem de ser fundeadas ou amarradas a terra, o comprimento a utilizar deve ser de forma a permitir o desenvolvimento de curvaturas suaves.

Normalmente, quando utilizadas para deflecção e protecção, as barreiras deverão ser colocadas de modo a formarem ângulos agudos com a direcção da corrente para evitar os inconvenientes do "velocidade crítica".

4.1.5 Critérios de Selecção das Barreiras

De acordo com o ITOPF (1981) os critérios a seguir para a selecção das barreiras devem ter em linha de conta os seguintes factores:

Critérios para Retenção de Hidrocarbonetos

- ☐ Capacidade de adaptação ao movimento da superfície do mar.
- ☐ Capacidade de evitar a fuga dos hidrocarbonetos por baixo da saia.
- ☐ Capacidade de evitar a fuga dos hidrocarbonetos por cima da barreira

CrITÉRIOS de Segurança

- ☐ Resistência às condições ambientais (mar, vento)
- ☐ Resistência à tracção
- ☐ Comprimento do elemento flutuante

CrITÉRIOS de Armazenagem e de Utilização

- ☐ Dimensões (altura total, bordo livre, calado, comprimento da secção)
- ☐ Peso
- ☐ Volume de armazenagem
- ☐ Requisitos de transporte
- ☐ Requisitos operacionais (pessoal, apoio logístico, por ex. compressor de ar)
- ☐ Simplicidade de manuseamento, lançamento, ligação e recolha

CrITÉRIOS de Custo e de Manutenção

- ☐ Resistência à acção química dos hidrocarbonetos, à radiação ultravioleta, à temperatura, ao desgaste e aos detritos flutuantes.
- ☐ Facilidade de manutenção e limpeza.
- ☐ Longa duração.
- ☐ Preço e prazo de entrega.

4.1.6 Linhas de Orientação para Lançamento das Barreiras

O lançamento de barreiras não constitui uma operação tão simples quanto à primeira vista possa parecer.

É necessário que o lançamento decorra de uma maneira lógica e bem ordenada, em primeiro lugar para evitar avarias na barreira durante a fase de lançamento.

Enumeram-se a seguir algumas linhas de orientação a observar no lançamento para que este decorra com o mínimo de esforço e sem avarias (Duarte, 1998):

- ◆ Antes do lançamento, quer de terra quer a partir do convés de uma embarcação, deve ser estimado o comprimento aproximado de barreira necessário e executadas as uniões adequadas de modo tão completo quanto possível.

- ◆ Logo que a barreira esteja pronta deve ser lançada para o mar e rebocada por uma embarcação para o local. A posição final será garantida usando âncoras ou poitas adequadas.
- ◆ Para evitar o arrastamento dos cabos de fundear, devido ao movimento das ondas, eles deverão ter o comprimento de pelo menos cinco vezes a profundidade da água.
- ◆ Quando se utiliza uma barreira para contenção dos hidrocarbonetos ou para protecção de uma área sensível, deverá ser prestada toda a atenção à extremidade junto a margem para evitar a passagem dos hidrocarbonetos.
- ◆ Em zonas para as quais esteja prevista a sua protecção por barreiras pode ser poupado muito tempo se for possível colocar previamente pontos fixos para as fundear. Deverá existir um plano prévio para o lançamento das barreiras, que tenha em linha de conta o tipo de hidrocarbonetos derramados, a origem do derrame, quantidades envolvidas, extensão do espalhamento, sensibilidade ambiental, etc. Na elaboração do plano deverão igualmente ser considerados outros factores, tais como o local de lançamento, os tipos de barreiras e comprimentos disponíveis, as técnicas de lançamento, a disponibilidade, a prontidão das embarcações auxiliares, etc.
- ◆ Evitar que as barreiras sejam lançadas a granel após a sua chegada ao local do derrame por forma a não provocar cocas e torções.
- ◆ O lançamento das barreiras a partir de pequenas embarcações deve ser feito com ajuda manual e cuidadosamente executado.

Manutenção das Barreiras

O movimento contínuo de uma barreira, devido à agitação da água e à acção do vento, provoca desgaste e eventualmente ruptura nos materiais de construção. Os cabos de fundear, quando em presença de correntes muito fortes que provoquem o arrastamento dos ferros ou poitas estão igualmente sujeitos a desgastes. Estes desgastes e rupturas podem significar, pelo menos, que a barreira se moveu da sua posição inicial. Na pior das hipóteses tais danos podem resultar numa destruição total da barreira.

Os componentes mais importantes das barreiras, que regularmente devem ser examinados por forma a mantê-las intactas e a operá-las de maneira eficiente, são os seguintes:

Barreiras (desgaste e ruptura)

Torna-se necessário inspeccionar com regularidade tendo em vista a detecção de possíveis danos:

- ⇒ Compartimentos de flutuação
- ⇒ Uniões de ligação
- ⇒ Ligações de lastro
- ⇒ Pontos de amarração
- ⇒ Estado da barreira, que pode ser afectada por detritos flutuantes e cargas alijadas ao mar
- ⇒ Secções sujeitas a cargas elevadas por acção de fortes correntes

Sistemas de Fundear

Quando possível, é necessário inspeccionar todos os cabos de fundear para assegurar a não existência de desgastes ou danos excessivos.

No caso de existência de uma deformação excessiva da configuração da barreira, deve inspeccionar-se a fixação dos ferros ou a posição das poitas e voltar a colocá-los.

Para prolongar a duração útil das barreiras e para assegurar que se encontrem sempre prontas para utilização imediata, é importante que elas sejam recolhidas, mantidas e armazenadas de modo adequado.

As barreiras requerem normalmente acções de limpeza após a sua utilização, o que poderá ser relativamente difícil em relação a alguns tipos. Os produtos mais utilizados na sua limpeza são normalmente os dispersantes ou o vapor. Caso seja utilizado o primeiro, deve ser assegurado que o seu uso é compatível com os materiais de construção da barreira.

Numa inspecção global deve ser verificado o estado geral da barreira, as condições do flutuador, uniões e dispositivos de lastro, bem como todos os acessórios relacionados com a sua fixação (amarração e equipamentos de fundear).

Devem existir conjuntos de reparação para resolver pequenas avarias.

4.1.7 Factores Relevantes para Utilização das Barreiras (ITOPF, 1981)

Os principais factores a ter em atenção face à necessidade de utilização das barreiras são os seguintes:

- ⇒ Determinação de prioridades na protecção
- ⇒ Decisão sobre a(s) área(s) a proteger, quer por barreiras rebocadas quer por barreiras fundeadas
- ⇒ Obtenção da máxima informação possível sobre correntes, ventos e marés
- ⇒ Cálculo das forças que se exercem nas barreiras
- ⇒ Selecção de pontos adequados para fundear ou meios de reboque
- ⇒ Avaliação da resistência, facilidade e velocidade de lançamento
- ⇒ Facilidade de manutenção e reparação
- ⇒ Disponibilidade de meios de armazenagem adequados
- ⇒ Selecção dos tipos de barreiras disponíveis mais adequados para os fins em vista
- ⇒ Treino intenso do pessoal e manutenção do seu grau de preparação através de exercícios práticos
- ⇒ Apreciação das limitações das barreiras disponíveis na contenção dos hidrocarbonetos e preparação de meios de improvisação sempre que se torne necessário.

4.2 Recuperadores

4.2.1 Considerações gerais

A recolha de hidrocarbonetos derramados à superfície da água é efectuada por meio de equipamentos denominados recuperadores ou “Skimmers”. Este equipamento é concebido por forma a não alterar de modo sensível as características químicas dos hidrocarbonetos.

O melhor tipo de recuperadores e a melhor técnica a utilizar depende da natureza dos hidrocarbonetos, do volume a recolher e da localização do derrame. Por outro lado, para que um recuperador se revele eficaz, as suas dimensões devem ser compatíveis com as condições de ondulação.

Qualquer que seja o seu tipo, os recuperadores funcionam com maior eficácia em camadas espessas de hidrocarbonetos devendo ser mantidos na zona de interface hidrocarbonetos/água para que sejam obtidos os melhores resultados. Nestas condições, sempre que possível, deverão ser utilizadas barreiras por forma a evitar o espalhamento do produto à superfície do mar e ao mesmo tempo proporcionar a sua contenção em pequenas áreas por forma a aumentar a espessura da camada.

Dada a diversidade de parâmetros envolvidos num derrame de hidrocarbonetos no mar é impossível desenvolver um recuperador ideal e universal. Por esse motivo terão de ser seleccionados os recuperadores que melhor se possam adaptar às mais diversas situações, cada uma das quais com condições de utilização específicas.

Do ponto de vista do utilizador é portanto ilusório procurar obter o melhor recuperador, isto é, aquele que seria capaz de recolher a máxima quantidade de hidrocarbonetos e a mínima de água, para os mais variados tipos de hidrocarbonetos, para as diferentes espessuras das camadas e para todas as condições topográficas e hidrográficas que se deparam. Resta, portanto, seleccionar o recuperador que melhor se adapte às necessidades do utilizador (ITOPF, 1982).

Para que a escolha seja a melhor possível torna-se necessário identificar perfeitamente quais as necessidades e condições de utilização do recuperador, proceder a uma correcta avaliação dos tipos de recuperadores disponíveis e conhecer a viscosidade e grau de aderência dos hidrocarbonetos a recolher, bem como qualquer alteração destas propriedades.

4.2.2 Técnicas de Utilização dos Recuperadores

Muito raramente é possível utilizar um recuperador com eficácia sem a ajuda de uma barreira que possibilite a contenção dos hidrocarbonetos derramados e por conseguinte a sua concentração.

Convém distinguir duas situações bem distintas:

- ⇒ Recuperação de um derrame de hidrocarbonetos no alto mar ou em zonas litorais desabrigadas em que por norma se faz sentir ondulação e vento significativos.
- ⇒ Recuperação de derrames nos portos e em águas interiores, normalmente calmas, abrigadas e por vezes pouco profundas.

No primeiro caso, regra geral, são utilizados recuperadores integrados em barreiras, designados por barreiras activas, rebocados e operados pelos navios ou embarcações que os transportam. No segundo caso, os recuperadores podem ser parte integrante de embarcações especializados ou serem operados a partir de terra ou de navios flutuantes.

A recuperação de um derrame de hidrocarbonetos no alto mar tem por objectivo recolher a maior quantidade possível dos hidrocarbonetos derramados e espalhados à superfície das águas. No entanto, face ao comportamento de um derrame no mar, cujos fenómenos observados serão suficientemente desenvolvidos no decorrer deste trabalho, a operação de recolha deverá ser posta em prática imediatamente a seguir à ocorrência do derrame e, se possível, antes que o produto derramado atinja o litoral.

Embora o objectivo a alcançar seja aparentemente simples, a situação reveste-se de um modo geral, de difícil e complicada resolução, dada a dificuldade de pôr em prática todo um complexo sistema, que além das limitações existentes, quer na quantidade quer na eficácia dos equipamentos actualmente disponíveis, requer a utilização de técnicas e de procedimentos de difícil execução. Por este facto, de acordo com estatísticas existentes, apenas foram recolhidos no alto mar 3% a 5% das quantidades totais de hidrocarbonetos derramados à escala mundial (Concawe 1981; ITOPI 1983).

A recolha pode ser feita por dois processos:

- ❑ Recuperação directa (recolha)
- ❑ Contenção/recolha
- a) Recuperação directa

Este processo utiliza navios ou embarcações especializadas que manobram no alto mar por forma a irem ao encontro da camada de hidrocarbonetos. Neste caso são utilizados recuperadores apropriados capazes de recolher, tanto quanto possível, uma elevada percentagem de hidrocarbonetos em relação à água. O produto é recolhido nos tanques do navio ou reservatórios flexíveis e seguidamente transferido para terra.

Os navios ou embarcações para este efeito, alguns destinados a operações em mar aberto e outros a águas interiores e portos, são equipados com recuperadores, tanques de armazenagem, sistemas para trasfega dos hidrocarbonetos, recolhas, instalação propulsora, máquinas auxiliares e dispositivos para recolha de detritos sólidos.

Os recuperadores que equipam estas embarcações são de um modo geral do tipo sucção, oleofílicos, de indução ou de escoamento (weir).

Para que o navio possa operar com eficácia terá de possuir uma boa capacidade de separação e de armazenagem de hidrocarbonetos, a qual deverá ser igual à sua capacidade de recolha durante um dia de operação. Caso contrário, deverão estar disponíveis outros meios de armazenagem para onde o navio possa trasfegar regularmente o produto recolhido. A existência de um separador hidrocarbonetos/água poderá, no entanto, aumentar consideravelmente a sua capacidade de armazenagem.

As embarcações devem ter possibilidade de se deslocarem a alta velocidade por forma a chegar ao local de operação o mais rapidamente possível e de poderem operar a baixas velocidades durante o período de tempo necessário.

Atendendo a que presença de detritos sólidos nos hidrocarbonetos muitas vezes impede ou dificulta a recolha do produto, estas embarcações dispõem de dispositivos para a recolha desses detritos e possuem capacidade de armazenagem para a sua posterior trasfega para eliminação.

b) Contenção/Recolha

Neste processo, que pode ser efectuado de modo estático ou dinâmico, os hidrocarbonetos são confinados por meio de barreiras a fim de aumentar a espessura da camada a facilitar a sua recolha por meio de recuperadores. O produto recolhido é armazenado a bordo de um navio ou em reservatórios flexíveis flutuantes e seguidamente transferido para terra (ITOPF, 1983).

O modo de recuperação estática (Fig.4.8), devido à acção dos ventos e correntes sobre as barreiras dificultando muitas vezes a sua manutenção numa posição estável, apenas se tem mostrado eficaz em zonas onde se faz sentir uma corrente fraca, não superior a 1.5 nós e em situações em que a velocidade do vento é aceitável. Por outro lado, sendo os recuperadores utilizados do tipo estático, em locais onde a ondulação é superior a 2 metros, a eficácia da maior parte destes equipamentos é posta em causa.

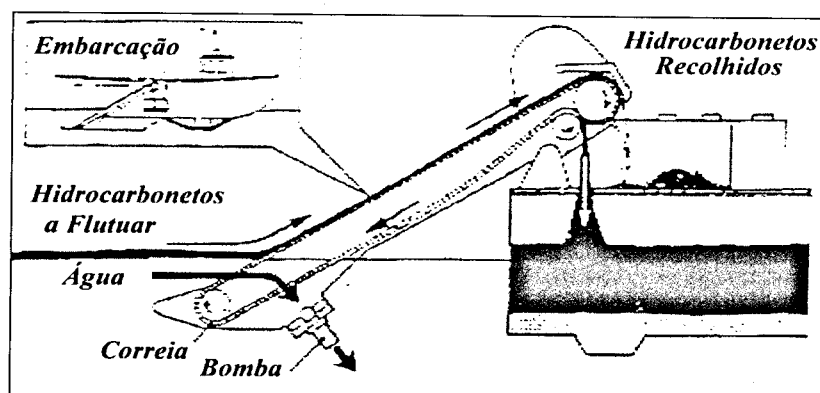


Figura 4.8-Sistema de recuperação de hidrocarbonetos no alto mar por meio de navios ou embarcações (ITOPF, 1983)

No modo de recuperação dinâmica, podem ser utilizados três sistemas:

A. Um único navio

Este sistema consiste num navio equipado com barreiras especiais disparadas de um ou dos dois bordos do navio por meio de braços rígidos ou vergas com cabos de suspensão. Os hidrocarbonetos concentrados numa bolsa da barreira ou encaminhados para um compartimento estanque junto ao casco do navio são recolhidos por meio de bombas ou de recuperadores e trasfegados para tanques de armazenagem do navio. Em alguns casos são utilizadas barreiras activas em que as bombas ou recuperadores fazem parte integrante da barreira. A fraca selectividade deste processo é compensada pela possibilidade de separação hidrocarbonetos/água a bordo do navio.

B. Dois navios

Neste sistema, a barreira é rebocada pelas extremidades e mantida de forma de “J” por dois navios. Os hidrocarbonetos por ela contidos são recolhidos por meio de um recuperador colocado na parte interior da curva do “J” e operado a partir de um dos navios que procede igualmente à armazenagem do produto. Poderá ser utilizada uma variante deste sistema em alternativa ao primeiro por forma a aumentar a capacidade de encontro da camada de hidrocarbonetos à superfície do mar. Neste caso, os hidrocarbonetos são recolhidos pelo recuperador que integra a barreira ou que se encontra instalado num dos navios.

C. Três navios

Este sistema pode ser posto em prática por três processos:

- ⇒ No primeiro processo, a barreira é rebocada em forma de “V” por dois navios. Os hidrocarbonetos contidos são recolhidos por meio de um recuperador, colocado na zona do vértice da barreira, operado a partir do terceiro navio que procede igualmente à armazenagem provisória do produto.
- ⇒ No segundo processo, a barreira é rebocada em forma de “U” por dois navios. Os hidrocarbonetos por ela contidos são recolhidos pelo terceiro navio equipado com recuperadores e trasfegados para os seus tanques de armazenagem.
- ⇒ No terceiro processo, a barreira é rebocada em forma de “U” por dois navios. Os hidrocarbonetos contidos nela, já concentrados, são deixados escapar através da curva do “U” para serem recolhidos pelo terceiro navio pelo sistema já descrito em que é utilizado um único navio.

Os navios utilizados nestes sistemas de recuperação devem possuir boa manobrabilidade por forma a permitir o seu rápido posicionamento no local ideal de operação e nela permanecer mesmo em situações em que o vento e corrente sejam as mais desfavoráveis.

Uma vez que o efeito de ondulação contra os recuperadores de grandes dimensões pode ter interferência no fluxo dos hidrocarbonetos para o seu elemento de recuperação, o navio terá que ser habilmente mantido na posição correcta em função das condições do mar.

A prática tem demonstrado que a eficácia da recuperação é reduzida quando o sistema utiliza mais do que um único navio, portanto com funções de contenção, recolha e armazenagem do produto derramado. A eficácia deste sistema tem-se revelado satisfatória até condições de vento força 3, da escala Beaufort, podendo inclusivamente ser utilizado para a recuperação de hidrocarbonetos de elevada viscosidade mas com grandes quantidades de água.

Uma das grandes dificuldades neste tipo de operações consiste nas acções de controlo dos movimentos e actividades dos navios. Por este facto, os navios terão de estar equipados com sistemas de comunicações adequados ou, em alternativa e com maior vantagem, recorrer-se à utilização de helicópteros, face à sua capacidade de pairar e de poderem operar a partir de uma base próxima do derrame.

A utilização dos dois processos de recuperação (directo e contenção/recolha) depende fundamentalmente da disponibilidade de navios com características adequadas à operação, incluindo capacidade de armazenagem e devidamente preparados para receber e operar os equipamentos necessários e indispensáveis (por ex. barreiras, recuperadores, bombas de trasfega).

Estes navios, por forma a serem economicamente rentáveis, deverão ter normalmente uma actividade polivalente (salvamento, dragagem ou apoio a plataformas “off-shore”). O grau de probabilidade de acidentes com navios em águas costeiras, a existência de actividades “off-shore” ou de dragagens sistemáticas, que se verifica para alguns países ribeirinhos, é pois determinante para a escolha destes processos. Nestes casos, os navios ou embarcações dedicados aquelas actividades poderão ser preparados, sem problemas de maior e sem grandes investimentos, para poderem ser utilizados em operações de recuperação de derrames acidentais de hidrocarbonetos no alto mar ou mesmo nos portos ou estuários.

Recuperação no Litoral (Duarte, 1998)

Para este efeito existem diversos tipos de recuperadores especialmente adaptados às condições particulares que se verificam ao longo do litoral e que se distinguem pela sua configuração e princípios de funcionamento.

Para a escolha e utilização dos recuperadores torna-se necessário avaliar, antes de mais, as características da zona do mar a tratar e a natureza e volume do produto a recolher.

Quanto ao primeiro aspecto há que conhecer a área envolvida, possibilidade de confinamento do produto, facilidade de acesso e movimentação na zona, existência ou não de sapais ou zonas pantanosas e ainda as condições de mar e atmosféricas.

No que se refere à natureza do produto a recolher é importante conhecer as suas propriedades, em particular a densidade, a viscosidade e o grau de inflamabilidade, bem como a presença ou não de detritos sólidos.

Há que reunir igualmente dados e informações quanto aos aspectos relativos à armazenagem intermédia, meios de transporte, possibilidade de colocação dos equipamentos em operação e sua manutenção.

É igualmente importante conhecer-se a disponibilidade de recursos e sua qualificação, de meios materiais complementares (por ex. barreiras, embarcações, fontes de energia, bombas, barcas ou reservatórios) e ainda a existência de instalações para tratamento e/ou eliminação dos produtos recolhidos.

As embarcações com sistemas de recuperação integrados e com propulsão própria, já referidas, embora muito dispendiosas, poderão revelar-se adequadas e relativamente eficazes para utilização em águas calmas e abrigadas, tais como portos, estuários e em áreas marítimas confinadas em que seja impraticável o seu acesso por terra.

Os hidrocarbonetos, que juntamente com outros materiais flutuam, têm tendência a acumular-se em determinados locais ao longo da costa devido à acção do vento e da movimentação das águas, podendo nestas condições ser facilmente confinados e concentrados mediante a utilização de barreiras. É, nestes locais, geralmente denominados pontos de recolha, que deverão ser postos em funcionamento as embarcações acima referidas e, com maior facilidade, recuperadores operados a partir de terra, desde que existam acessos próximos.

Durante a utilização dos recuperadores deverão ser tomadas todas as precauções para evitar que neles se acumulem detritos sólidos, uma vez que, além de reduzirem a sua eficácia, poderão causar-lhes sérias avarias.

Sempre que a quantidade de hidrocarbonetos a recuperar seja diminuta, as operações devem ser intervaladas por forma a evitar um excesso de recolha de água. No caso da camada de hidrocarbonetos apresentar uma grande espessura, a taxa de recolha é função da capacidade da bomba de trasfega, que por sua vez depende da viscosidade dos hidrocarbonetos. Dado que o aumento de viscosidade é devida à formação de emulsões água-em-óleo, sempre que necessário deverão ser utilizados produtos desemulsificantes. Para evitar ou reduzir a obstrução das bombas e mangueiras poderá ser utilizado vapor para aquecimento.

Após a sua utilização, os recuperadores devem ser devidamente limpos e verificados tendo em vista a detecção de quaisquer desgastes ou avarias. Para o efeito, poderá ser utilizado vapor ou solventes, sendo desaconselhável o uso de produtos químicos nos recuperadores de cordões ou de discos oleofílicos.

Eficácia dos Recuperadores (Borrego *et al.*, 1994).

Como principais factores determinantes da eficácia dos recuperadores poder-se-á citar a capacidade de encontro, a taxa de recolha, a selectividade e a capacidade de trasfega

A capacidade de encontro significa o volume de hidrocarbonetos que um recuperador encontra no mar, por unidade de tempo. Este factor é dado pela seguinte expressão:

$$C = V \times l \times e \quad (21)$$

em que:

C= capacidade de encontro

V= velocidade de avanço

l= largura de varrimento

e= espessura média da camada de hidrocarbonetos

A taxa de recolha significa a quantidade de hidrocarbonetos efectivamente recolhidos em relação à quantidade de produto encontrada. Esta relação, que tem um valor máximo próprio de cada equipamento, varia com a velocidade de utilização do recuperador. Contudo, pode ser preferível aumentar a quantidade recolhida em detrimento da taxa de recolha aumentando a velocidade de operação.

A selectividade significa a maior ou menor percentagem de hidrocarbonetos contidos no produto recolhido, pretendendo-se evitar ao máximo a recolha inútil de água do mar. Este objectivo pode ser alcançado com base na afinidade dos hidrocarbonetos para certos materiais, quer através da recolha da camada à superfície do mar com maior concentração de hidrocarbonetos, quer ainda mediante a utilização de um sistema complementar que proporcione uma separação hidrocarbonetos/água que poderá ser facilitada mediante a adição de produtos desemulsificantes logo após a recolha.

A capacidade de trasfega diz respeito à capacidade que um dado recuperador oferece para a trasfega do produto recolhido. Este factor, função do débito de bombagem e do volume de armazenagem próprio do recuperador, torna-se cada vez menor à medida que a viscosidade do produto aumenta. Isto verifica-se quando o produto derramado é um fuel pesado e a temperatura da água do mar é muito baixa ou quando o produto a recolher já se encontra em forma de uma emulsão estável, muito viscosa e com elevada percentagem de água.

Sendo normalmente a armazenagem própria dos recuperadores praticamente nula, torna-se muitas vezes necessário dispor de reservatórios portáteis, embarcações ou navios providos de tanques de armazenagem. Neste último caso, para além de uma maior capacidade de armazenagem, verifica-se ainda a vantagem da existência de bombas de trasfega e de meios para aquecimento do produto recolhido.

Critérios de Avaliação dos Recuperadores (Duarte 1998; NAOO 1992)

Para a avaliação dos recuperadores, podem considerar-se critérios de quatro tipos:

a) Critérios de recolha dos hidrocarbonetos

- ☐ Volume de hidrocarbonetos recolhidos na unidade de tempo
- ☐ Selectividade (percentagem de hidrocarbonetos no produto recolhido)
- ☐ Dependência do tipo de hidrocarbonetos (densidade, viscosidade)
- ☐ Sensibilidade (em relação aos detritos sólidos à espessura da película, à ondulação e aos ventos)

b) Critérios de fiabilidade

- ☐ Comportamento nas águas
- ☐ Complexidade dos mecanismos
- ☐ Robustez
- ☐ Facilidades de reparação no local

c) Critérios de armazenagem e de utilização

- ☐ Necessidade de transporte e de embarque
- ☐ Necessidade operacionais em pessoal e em material (bombas, fontes de energia, meios de manutenção, apoio de embarcações e outros meios flutuantes, armazenagem do produto recolhido)
- ☐ Rapidez da colocação do equipamento em operação
- ☐ Obstáculos e altura disponível acima e abaixo da linha de flutuação.

d) Critérios de manutenção e de custo

- ⇒ Resistência dos materiais às alterações naturais e à acção química dos hidrocarbonetos
- ⇒ Facilidades de limpeza, de manutenção e de recuperação
- ⇒ Preços e prazos de entrega
- ⇒ Garantia do fabricante

Principais Tipos de Recuperadores e suas Características (API, 1994a)

Os recuperadores, de um modo geral constituídos por um elemento de recolha, estrutura de flutuação e sistema de trasfega do produto recolhido, necessitam de uma unidade de potência para fazer funcionar quer o elemento de recolha quer o sistema de trasfega do produto, podendo ser parte integrante ou não da sua estrutura. A potência pode ser fornecida directamente por motor Diesel ou eléctrico ou por sistemas hidráulicos ou pneumáticos accionados por motor Diesel.

Existem actualmente um grande número de recuperadores com características e princípios de funcionamento diversos adaptáveis às diferentes condições e zonas de utilização directamente relacionadas com o estado do mar.

De acordo com a sua capacidade de recolha, pode-se-á considerar recuperadores de grande, média ou pequena capacidade. Pode-se-á também fazer uma distinção entre recuperadores estáticos e dinâmicos, conforme seja nula ou não a velocidade de operação do recuperador em relação à água. Podemos ainda, em função do local de utilização, distinguir os recuperadores utilizados no alto mar e os que são utilizados unicamente em águas calmas e abrigadas, nomeadamente em determinadas zonas do litoral, portos e rios.

Em função do sistema de recolha dos hidrocarbonetos os recuperadores são geralmente classificados em quatro grupos principais, a saber (ITOPF, 1983):

- Sistemas que utilizam dispositivos de sucção
- Sistemas que utilizam materiais oleofílicos
- Sistemas que utilizam dispositivos de indução
- Sistemas que utilizam outro tipo de dispositivo

Sistemas que Utilizam Dispositivos de Sucção

Estes sistemas, que se baseiam nas propriedades de fluidez e/ou densidade dos hidrocarbonetos são, de um modo geral, constituídos por uma cabeça de recolha, uma bomba de trasfega e um tanque de armazenagem. O produto a recolher é “puxado” para o interior do tanque através de uma abertura especialmente concebida para limitar a entrada da água que acompanha os hidrocarbonetos.

Para minimizar esta última contrariedade, a cabeça deve flutuar na zona da interface hidrocarbonetos/água. A dimensão da barreira da abertura e a capacidade da bomba de trasfega determinam a taxa de recolha. A selectividade do sistema é ditada pela relação entre a dimensão da abertura de entrada para o tanque de armazenagem e o comprimento da onda.

Existem, entre outros, dois tipos de cabeças especiais, designadamente do tipo de sucção de superfície e do tipo escoamento (weir) (Fig. 4.9). O fluxo de hidrocarbonetos processa-se por cima de um descarregador de nível auto-ajustável para o interior do poço do recuperador donde é bombeado para a armazenagem provisória. A eficácia destas unidades, função da viscosidade e espessura da camada de hidrocarbonetos e estado do mar, está limitada à condição de mar força 1 da escala de Beaufort (ondulação de 0.1 m de altura).

O sistema é sensível a hidrocarbonetos de alta viscosidade ou emulsionados, à ondulação e à presença de detritos sólidos.

Este sistema, com tendência a recolher grande volume de água em relação ao volume de hidrocarbonetos, pode, no entanto, tornar-se vantajoso sempre que haja necessidade de utilizar unidades de alta capacidade para recolha de hidrocarbonetos de elevada viscosidade. Neste caso há que contar com uma grande capacidade de armazenagem e dispositivos de separação hidrocarbonetos/água, uma vez que a mistura recolhida é geralmente constituída por cerca de 90% de água.

Existem modelos de várias dimensões, desde as unidades portáteis até às grandes unidades incorporadas em navios especializados de recuperação.

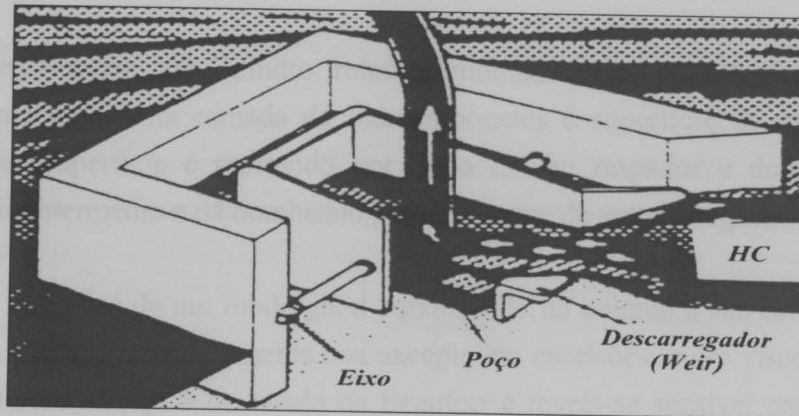


Figura 4.9-Recuperador com sistema de sucção (ITOPF, 1983)

Sistemas que Utilizam Materiais Oleofílicos

Estes sistemas, que se baseiam nas propriedades de aderência dos hidrocarbonetos às superfícies em contacto com a mistura água/hidrocarbonetos, utilizam materiais oleofílicos na forma de disco, tambor, tapete ou correia, cordões flutuantes e escovas, aos quais os hidrocarbonetos aderem (NOAA, 1992; ITOPF, 1983).

Sistemas de Discos

Montados verticalmente num veio horizontal secção circular ou rectangular, os discos, ao rodarem parcialmente mergulhados na zona da interface hidrocarbonetos/água, proporcionam a aderência dos hidrocarbonetos. A parte dos discos fora de água é raspada por intermédios de lâminas envolvidas dando lugar a que o produto aderido seja removido e depositado numa cuba.

Este sistema, que se encontra disponível em várias dimensões, apresenta uma boa selectividade, revela-se mais eficaz em águas calmas, podendo, no entanto, operar até à condição de mar força 3 da escala de Beaufort. Tem grande dificuldade em funcionar com produtos muito viscosos, e é sensível à presença de detritos sólidos. Em geral, a unidade de potência que equipa o sistema para fazer rodar os discos e proporcionar o funcionamento da bomba de trasfega dos produtos recolhidos é constituída por um grupo diesel-hidráulico.

Sistema de Tambor

Este sistema utiliza um cilindro rotativo montado num eixo horizontal, funcionando parcialmente imerso na camada de hidrocarbonetos à superfície do mar. O produto que adere à sua superfície é removido por meio de um raspador e descarregado para um reservatório intermédio e dá bombeado para um tanque de armazenagem.

A taxa de recolha é de um modo geral baixa sendo no entanto a sua selectividade bastante elevada. A eficácia é relativamente boa excepto em emulsões muito viscosas e em condição de mar inferior a força 3 da escala de Beaufort e revela-se sensível em relação a detritos sólidos.

Sistema de Tapete ou Correia

Este sistema utiliza um tapete ou correia com uma determinada inclinação que corre continuamente entre dois rolos através da camada de hidrocarbonetos à superfície do mar. O produto arrastado é descarregado para um tanque de onde é trasfegado para os meios de armazenagem a bordo ou em terra.

A taxa de recolha é boa desde que a camada de hidrocarbonetos seja levada ao encontro do tapete ou correia, a eficácia não é significativamente afectada em condição de mar inferior a força 2 ou força 1 da escala de Beaufort (tapete ou correia, respectivamente) e apresenta uma boa selectividade. O sistema de tapete é adequado a todos os tipos de hidrocarbonetos e não se revela sensível à presença de detritos sólidos enquanto que o sistema de correia é apenas adequado a produtos não viscosos e sensíveis a detritos sólidos.

Sistema de Cordões Flutuantes

O modelo mais comum deste sistema é constituído por uma ou mais voltas de cordão em material sintético oleofílico, que roda continuamente entre um rolo motriz montado na unidade de recolha e uma ou mais roldanas de retorno que flutuam à superfície da água.

O comprimento do cordão pode ser ajustado em função da extensão da área a tratar. O produto aderente ao cordão, que funciona parcialmente imerso na camada dos hidrocarbonetos, é espremido por meio de rolos instalados na unidade de recolha e descarregado para um reservatório. Caso os hidrocarbonetos se apresentem muito viscosos, poderá ser injectado vapor para facilitar a sua recolha. Este modelo, que não é afectado por algas ou detritos e que é adequado para utilização em águas pouco profundas, pode ser instalado em terra ou em embarcações.

Um outro modelo, como variante do primeiro, de grande capacidade e para utilização no alto mar, é constituído por múltiplas voltas que funcionam suspensos entre a unidade de recolha instalada no convés de um navio e a superfície do mar.

O sistema proporciona uma elevada selectividade e revela-se mais eficaz em hidrocarbonetos de fraca e média viscosidade tendo a maior parte das vezes dificuldade em trabalhar com emulsões inversas (água em óleo). Com um bom comportamento em condição de mar até à força 3 da escala de Beaufort, revela-se igualmente eficaz para recolha de camada de hidrocarbonetos de reduzida espessura.

Sistema de escovas

O sistema de escova é constituído por uma série de fiadas de escovas em material oleofílico, que funcionam de modo semelhante ao sistema de cordões. O produto aderente às escovas é raspado por dispositivos com rasgos de configuração especial e descarregado para um tanque de armazenagem.

Sistemas que Utilizam Dispositivos de Indução (ITOPF, 1983)

Estes sistemas são usualmente instalados em embarcações com ou sem propulsão própria. A embarcação ao deslocar-se no seio da camada de hidrocarbonetos dá origem a que eles sejam conduzidos para uma área de armazenagem a bordo onde os efeitos das ondas e corrente são reduzidos, melhorando assim a separação hidrocarbonetos/água. O produto separado é então removido por processos convencionais.

Tal como para outros sistemas, a sua eficácia é afectada pela obstrução causada por algas e outros detritos sólidos a menos que sejam instalados filtros de redes.

Existe uma grande variedade de sistemas que utilizam este tipo de dispositivo constituídos por diferentes combinações de técnicas de recolha e de separação. São exemplos desses sistemas os seguintes:

Sistema de Separação Múltipla

A mistura água/hidrocarbonetos é levada a passar através de um tanque, com uma série de placas de separação, colocado a uma profundidade fixa abaixo da superfície de água (Figura 4.10). O produto separado flutuando à superfície do tanque é descarregado por “overflow” para um reservatório. A água é bombeada do fundo do tanque e os hidrocarbonetos são trasfegados do reservatório para os meios de armazenagem.

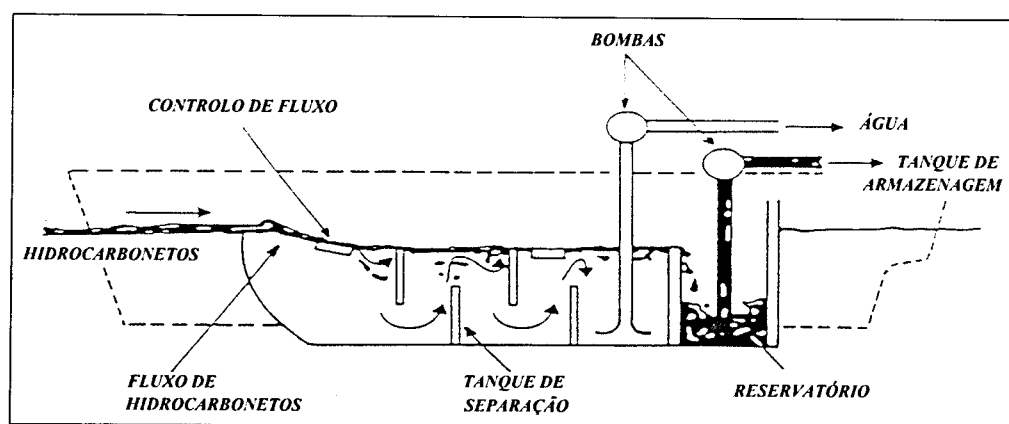


Figura 4.10-Recuperador com sistema de separação múltipla (ITOPF, 1983)

Sistema Plano Inclinado

Este sistema consiste numa correia ou tapete que, em alguns casos, roda no sentido oposto ao do sentido de avanço da embarcação tendo em vista reduzir a velocidade relativa entre a correia ou tapete e a água do mar (Figura 4.11). Devido ao avanço da embarcação, a camada de hidrocarbonetos à superfície da água é forçada a ir ao encontro da correia ou tapete provocando o seu arrastamento até à entrada de um tanque com placas separadoras.

Neste tanque, os hidrocarbonetos separados da água são bombeados para a armazenagem enquanto a água isenta de produto se escapa para o mar.

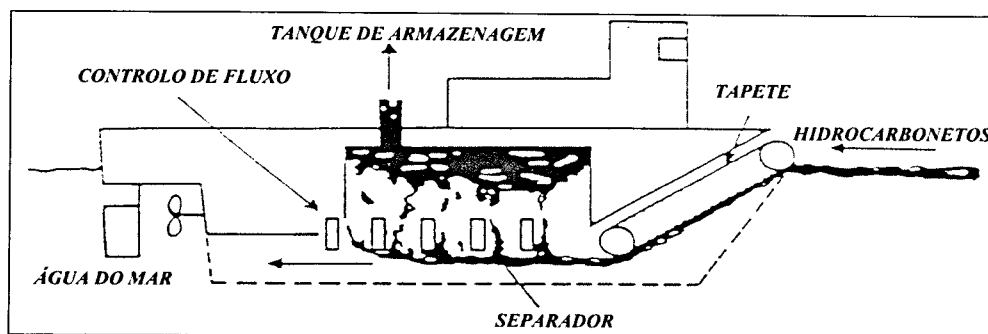


Figura 4.11-Recuperador com sistema de plano inclinado (ITOPF, 1983)

Sistema Hidrociclone

Este sistema utiliza o conceito de força centrífuga (Figura 4.12). Dado que a embarcação se desloca à superfície do mar, a água e os hidrocarbonetos são forçados a fluir tangencialmente para o interior de uma câmara onde circulam a alta velocidade. A força centrífuga que se desenvolve por esse facto faz com que os hidrocarbonetos se separem da água no sentido da parte central do turbilhão de onde são removidos por sistema de bombagem, enquanto que a água se escapa para o mar através de uma abertura no fundo da câmara.

Uma vez que a estabilidade do turbilhão é afectada pela ondulação, a taxa de recolha do sistema é diminuída com a agitação marítima, não sendo aconselhável a sua utilização em condição de mar superior a força 2 da escala de Beaufort. As embarcações terão de operar em zonas pouco restritas por forma a permitir uma velocidade média de 3 a 4 nós, o que constitui de certo modo uma limitação. Com uma selectividade função da espessura da câmara de hidrocarbonetos, em camadas finas ela poderá ser melhorada com a utilização de um dispositivo de separação instalado na embarcação. O sistema não se revela eficaz para produtos viscosos e emulsionados, nem para hidrocarbonetos com densidade próxima da água do mar (Concawe, 1981).

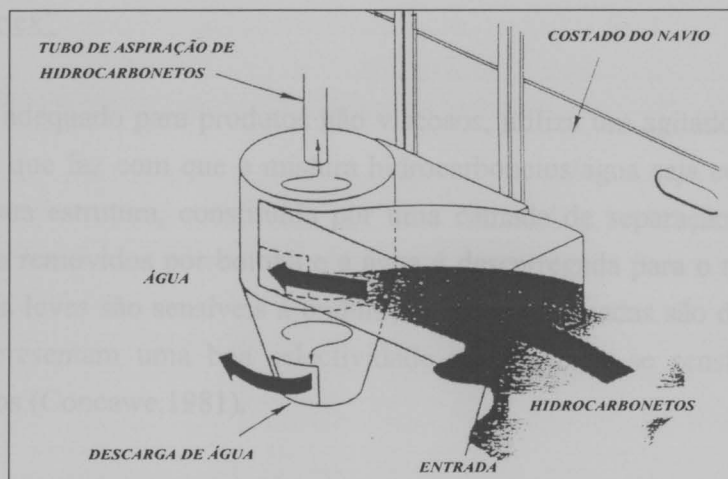


Figura 4.12-Recuperador com sistema hidrociclone (Concawe, 1981)

Outros Sistemas

São geralmente considerados ainda os seguintes sistemas:

Bomba de parafuso

Este sistema baseado no princípio do parafuso de Archimedes (Figura 4.13), é especialmente concebido para a recolha de hidrocarbonetos viscosos, podendo mesmo captar certos detritos sólidos.

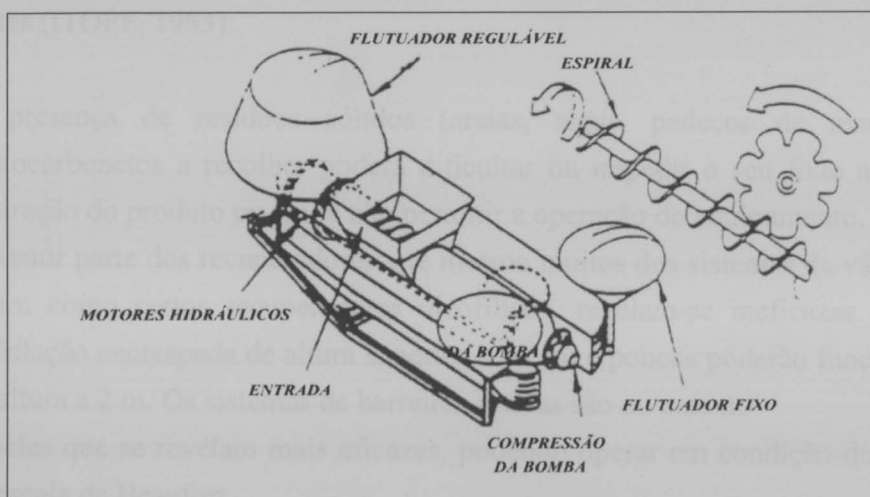


Figura 4.13-Recuperador com bomba de parafuso (ITOPF, 1983)

Sistema “Vortex”

Este sistema adequado para produtos não viscosos, utiliza um agitador de pás que provoca um turbilhão que faz com que a mistura hidrocarbonetos/água seja conduzida para a parte superior da sua estrutura, constituída por uma camada de separação. Os hidrocarbonetos separados são removidos por bomba e a água é descarregada para o mar. Enquanto que as unidades mais leves são sensíveis à ondulação, as mais pesadas são difíceis de colocar em operação. Apresentam uma boa selectividade mas revelam-se sensíveis na presença de detritos sólidos (Concawe, 1981).

Sistema de Vácuo

Este sistema simples e robusto, eficaz para recolha de emulsões ou hidrocarbonetos muito viscoso mas com fraca selectividade, é normalmente utilizado nas operações de limpeza de pequenos canais, em águas pouco profundas, em zonas rochosas onde se verifique a acumulação deste tipo de produtos, em praias, etc.. A separação hidrocarbonetos/água, por gravidade, tem lugar no tanque de armazenagem do produto recolhido, procedendo-se à descarga periódica da água separada. Em presença de finas camadas poderá ser necessário o recurso a cabeças especiais de aspiração (Duarte, 1998).

4.2.3 Factores Limitativos dos Recuperadores

Como principais factores limitativos para a utilização dos recuperadores, podemos citar os seguintes (ITOPF, 1983):

- A presença de resíduos sólidos (areias, algas, pedaços de madeira, etc.) nos hidrocarbonetos a recolher poderá dificultar ou impedir o seu livre acesso, obstruir a aspiração do produto ou ainda não permitir a operação do equipamento.
- A maior parte dos recuperadores, até mesmo muitos dos sistemas de vácuo ou “vortex”, assim como certos recuperadores oleofílicos, revelam-se ineficazes em presença de ondulação encrespada de altura superior a 50 cm e poucos poderão funcionar com ondas de altura a 2 m. Os sistemas de barreiras activas são no entanto aqueles que se revelam mais eficazes, podendo operar em condição de mar até força 4 da escala de Beaufort.

- A dificuldade de determinação da posição das camadas de hidrocarbonetos à superfície do mar, caso não se disponha de meios aéreos, a impossibilidade de operar durante a noite ou em condições de fraca visibilidade, a dificuldade em manobrar os recuperadores de um modo preciso e ainda a dificuldade de transferência dos produtos recolhidos caso não se disponha de uma cadeia eficaz e adequada ao sistema de recuperação, constituem igualmente limitações à utilização dos recuperadores.
- A espessura da camada, a viscosidade e o grau de emulsão dos hidrocarbonetos bem como a velocidade da corrente de superfície são factores importantes para a escolha do tipo de recuperador a utilizar. Uma ligeira corrente poderá ser benéfica para a maior parte dos recuperadores na medida em que ela poderá servir para “alimentar” os equipamentos ou concentrar os hidrocarbonetos. Pelo contrário, se a corrente for muito forte, por exemplo na ordem dos 1.5 nós, surgem fenómenos de arrastamento dos hidrocarbonetos sob o recuperador, salvo no caso de sistemas que possam ser deslocados na água de modo a manterem uma velocidade relativa compatível com o seu funcionamento.

5. UTILIZAÇÃO DE DISPERSANTES

A recolha mecânica dos hidrocarbonetos pode não ser possível por (ITOPF, 1982):

- ⇒ Falta de condições meteorológicas adequadas (acima de mar força 3-4 ou para correntes superiores a 0.5 m/s não é possível a contenção mecânica por barreiras);
- ⇒ Falta de tempo para a obtenção dos meios (equipamentos);
- ⇒ Inadequabilidade dos equipamentos (recuperadores não apropriados ao produto).

Nestes casos pode recorrer-se ao uso de dispersantes.

Os dispersantes são misturas de tensioactivos em um ou mais solventes especialmente formulados para aumentarem a taxa deste processo com a finalidade de reduzir a quantidade de hidrocarbonetos que atingem a costa, por conversão destes hidrocarbonetos flutuantes em pequenas gotículas dispersas na coluna de água (Concawe, 1981).

Os dispersantes promovem a formação de numerosas gotículas de hidrocarbonetos e retardam a recoalescência dessas partículas em manchas, devido ao facto de conterem agentes tensioactivos que reduzem a tensão superficial entre os hidrocarbonetos e a água (Fig.5.1). As moléculas dos tensioactivos possuem núcleos com propriedades hidrofílicas que se associam com as moléculas da água e com propriedades oleofílicas que se associam com os hidrocarbonetos. Assim, as gotículas de hidrocarbonetos são rodeadas pelas moléculas do tensioactivos que, deste modo, estabilizam, o que permite a sua rápida diluição pela agitação da água (API, 1985; Tetra, 1985).

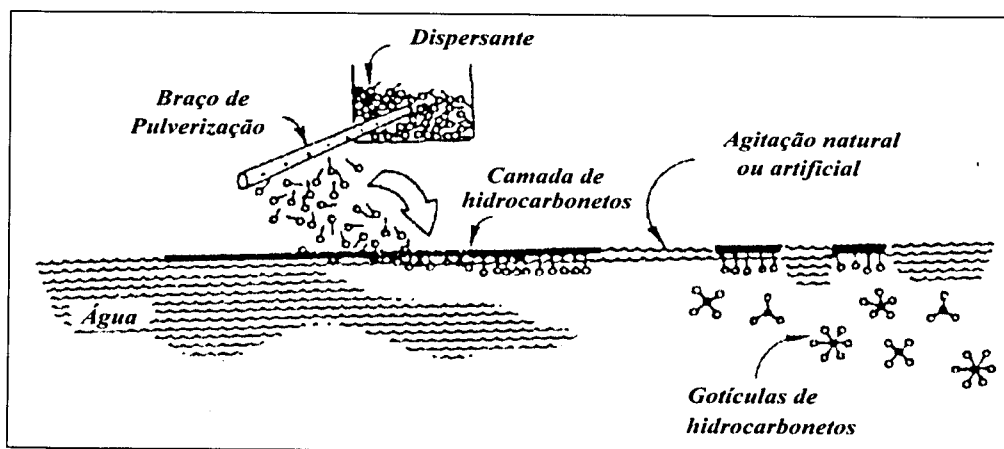


Figura 5.1-Mecanismo de dispersão química (Canevari, 1969)

A formação de milhares de gotículas aumenta a biodegradação pelo facto de aumentar a área de hidrocarbonetos expostos às bactérias e ao oxigénio.

Numa primeira fase, é acelerada a evaporação dos componentes voláteis dos hidrocarbonetos e evita-se a formação de «mousse» (emulsão água/hidrocarbonetos).

Numa segunda fase, verifica-se que a diluição dos hidrocarbonetos na coluna de água é aumentada.

5.1 Efeitos Imediatos dos Dispersantes

De acordo com NRC (1989) e Concawe (1981), os efeitos imediatos da aplicação de dispersantes são:

- a) Os hidrocarbonetos que flutuam são menos afectados pelo efeito do vento.
- b) Os hidrocarbonetos dispersam-se na coluna de água e são mais afectados pelas correntes de água e turbulências.
- c) A biodegradação natural dos hidrocarbonetos é acelerada.
- d) A toxicidade dos hidrocarbonetos é aumentada localmente (que se manterá enquanto não se verificar uma diluição na coluna de água).
- e) Os agentes dispersantes impedem a formação de emulsões inversas denominadas «mousse de chocolate».

5.2 Tipos de Dispersantes

Para que um agente tensioactivo actue é necessário que seja distribuído pelos hidrocarbonetos, o que é conseguido utilizando agentes denominados solventes.

Segundo Smith (1968), os dispersantes são normalmente classificados de acordo com o solvente usado ou de acordo com o método de aplicação utilizado:

- a) Classificação dos dispersantes segundo o «solvente» usado
 - ⇒ Dispersantes de «1.^a geração»: comercializados na década de 1960, contendo solventes ricos em compostos aromáticos e bases tensioactivas de toxicidade relativamente elevada. Por este motivo, deve ser proibida a sua utilização.

- ⇒ Dispersantes de «2.^a geração» ou «convencionais»: comercializados a partir de 1970. São constituídos por uma base de solventes petrolíferos não aromáticos e por 15 a 25% de tensioactivos não iónicos. Pouco tóxicos quando correctamente aplicados, devem ser utilizados sem diluição prévia. São aplicados em dosagens de 30 a 100% de quantidade de hidrocarbonetos a tratar, sendo cada vez menos usados.
- ⇒ Dispersantes de «3.^a geração» ou «concentrados»: constituídos por 25 a 60% de tensioactivos e por solventes orgânicos polares aos quais podem ser adicionados certos solventes hidrocarbonados. Dado o facto de terem mais ingredientes activos que os convencionais são utilizados em doses representando 5 a 15% dos hidrocarbonetos a tratar.

b) Classificação dos dispersantes segundo o método de aplicação

Em alguns países os dispersantes actuais são classificados em três categorias de acordo com o método de aplicação utilizado:

TIPO I – Dispersante tipo clássico

Aplicado concentrado: uma parte de dispersante para uma a três partes de hidrocarbonetos.

«Solvente»: Hidrocarbonetos com baixa percentagem de aromáticos.

TIPO II – Normalmente diluído em água do mar antes de ser aplicado (10% diluição).

uma parte de dispersante diluído para três partes hidrocarbonetos

«Solventes»: Álcoois, glicol ou água.

TIPO III - Dispersante concentrado aplicado no estado puro.

Normalmente uma parte de dispersante para trinta partes de hidrocarbonetos. São normalmente utilizados para dispersão aérea. É normal a utilização de uma taxa de 50 l/ha.

«Solventes»: Álcoois, glicol e água.

Por vezes são aplicados diluídos a partir de um navio de superfície sendo no entanto aconselhável a sua utilização no estado puro.

5.3 Planeamento para a Utilização de Dispersantes

Para que seja possível a utilização de dispersantes num Plano de Intervenção torna-se necessário que (Oil Spill, 1980):

- ⇒ Sejam identificados os riscos e os casos em que é possível a utilização de dispersantes.
- ⇒ Sejam determinadas as zonas sensíveis à contaminação com hidrocarbonetos e nas quais é razoável a utilização de dispersantes.
- ⇒ Seja obtida junto das autoridades competentes autorização para utilização de dispersantes, aprovação dos dispersantes a utilizar e indicação de onde, quando e como podem ser aplicados.

a) Dispersão natural dos hidrocarbonetos

As propriedades dos hidrocarbonetos mudam rapidamente quando estes são derramados no mar. Devido à evaporação dos produtos voláteis e incorporação de água como emulsões água/hidrocarbonetos («envelhecimento»), a viscosidade aumenta rapidamente, bem como o ponto de fluidez. Estes fenómenos dependem dos tipos de hidrocarbonetos e das condições da temperatura e do vento.

Os hidrocarbonetos que após o derrame poderiam ser tratados com dispersantes começam a perder esta capacidade com o tempo. A maioria dos hidrocarbonetos podem ser tratados com dispersantes até 4 a 6 horas após o derrame.

Uma excepção é o «fuel oil pesado» que apenas poderá ser disperso quando a temperatura da água se encontra acima dos $30^{\circ}C$.

Na tabela 5.1 apresentam-se considerações sobre o tratamento dos hidrocarbonetos.

Tabela 5.1-Considerações sobre o tratamento dos hidrocarbonetos
(Canevari, 1969).

TIPO DE HIDROCARBONETOS	DECISÃO DE TRATAMENTO
Produtos refinados: Gasolina Gasóleo	Tratamento inútil (desaparecimento natural por evaporação), salvo riscos de explosão
Brutos ligeiros e combustíveis de viscosidade < 1000 cSt: Iranian light Arabian light	Dispersão possível com produtos de «3.ª geração».
Brutos combustíveis de viscosidade entre 1000 e 2000 cSt	Dispersão parcial com produtos de «2.ª ou 3.ª geração» aplicados puros
Brutos envelhecidos, brutos pesados e combustíveis de viscosidade > 2000 cSt: Bunker C Fuel n.º 2 Produtos de deslastragens Brutos envelhecidos pelo mar («tar balls»)	Dispersão ineficaz
Emulsões inversas (mousse)	Coloração castanha ou vermelho tijolo. A dispersão pode ser difícil ou impossível. Utilizar produtos de «2ª geração» de preferência e apenas em emulsões pouco viscosas.

A rapidez de decisão obriga, portanto, a que as autorizações sejam dadas com antecedência para os casos mais prováveis e os equipamentos e produtos (dispersantes) estejam disponíveis a curto prazo.

b) Dimensões prováveis dos derrames

A maior parte dos derrames provocados por colisões ou encalhes de navios são inferiores a 10 000 t. A maior parte dos derrames operacionais são inferiores a 7 t.

c) Quantidade necessária de dispersantes

As taxas de utilização de dispersantes podem ser obtidas na tabela 5.2.

Tabela 5.2-Taxas de utilização de dispersantes (API, 1985)

Viscosidade $\frac{-cSt}{Dispersantes}$ ↓	< 1.000	1.000 – 2.000	> 2.000
Tipo clássico (2. ^a geração)	30 a 50%	50 a 100%	Eficácia muito Limitada
Aplicados diluídos na água a 10%	5 a 10% (*)	EficáciaLimitada	Não Recomendado
Aplicado no estado puro	5 a 10%	10 a 15%	Não Recomendado

(*) Quer dizer 50 a 100% de solução diluída. Assim, para um derrame de 5000 *m*³ são necessários 250 a 500 *m*³ de dispersante, partindo de princípio que seria a única resposta ao derrame.

d) Métodos de aplicação dos dispersantes

Os métodos mais eficazes de aplicação dependem da dimensão do derrame e da possibilidade da sua rápida obtenção.

Os dispersates podem ser aplicados a partir de:

- ☐ Meios aéreos (aviões asa fixa e helicópteros)
- ☐ Navios

Pode-se estimar a quantidade de dispersante das seguintes maneiras:

I. Uso de barco

Segundo Concawe (1981), para calcular o volume de dispersante a ser lançado por pulverização por unidade de tempo usa-se a seguinte expressão:

$$Q = 30.87 \times V \times L \times E \times C \tag{22}$$

onde:

Q = quantidade a lançar em litros por minuto (puro ou pré-diluido);

30.87 = distância em metros percorrida pelo barco, na unidade de tempo (min), se a sua velocidade for de 1 nó; (1 milha marítima/h $\approx$ 0.515 m/s)

V = velocidade do barco em nós;

L = extensão em metros das bombas de pulverização se instaladas na secção inferior do barco;

E = espessura média da mancha em milímetros;

C = volume, em litros, do dispersante puro necessário para uma eficiente dispersão de um litro de petróleo

Se o volume calculado, Q , excede o volume máximo que se pode lançar, reduz-se a velocidade do navio. Esta situação ocorre frequentemente quando a espessura da mancha excede 1 mm.

II. Uso de avião

Concawe (1981), propõe a seguinte expressão:

$$Q = 0.447 \times N \times S_w \times E \times R \quad (23)$$

onde:

Q = quantidade a lançar em l/s

0.447 = velocidade de um avião, em m/s, quando a sua velocidade é de 1 milha/hora (1609 m/h);

N = velocidade do avião em milhas por hora;

S_w = extensão atingida na superfície em metros;

E = espessura média da mancha em milímetros;

R = razão entre o dispersante e o petróleo a ser disperso

Exemplo:

$N=105$ milhas/hora

$S_w = 25$ m

$E=0.2$ mm

$R=1/50$

$Q = 0.447 \times 105 \times 25 \times 1 : 50 = 4.69 \text{ l/s}$

As aeronaves deslocam-se em elevadas velocidades, o que é útil quando o derrame se encontra longe. Têm no entanto capacidades reduzidas (1 a 20 t.). São úteis na fase inicial de combate ao derrame.

Os navios levam mais tempo a atingirem o local do derrame mas podem transportar muito mais produto e permanecer no local muito mais tempo.

Devido à escassez de tempo útil para uma resposta, todo o dispositivo deve estar pré-posicionado e pronto a todo o momento.

e) Problemas Relacionados com a Sensibilidade dos Recursos Naturais

Os recursos naturais e económicos de uma área devem constar de cartas preparadas para o efeito e a partir delas devem ser definidas políticas de utilização de dispersantes, tendo em conta a efectivação de «Análises de Benefícios Líquidos Ambientais».

f) Tomada de Decisão Após um Derrame

A decisão acerca da atitude a tomar após um derrame pode ser encontrada seguindo a metodologia representada na Fig. 5.2 (OCINF-IPIECA, 1980).

Tem em linha de conta a qualidade derramada, o tipo de produto e as áreas sensíveis existentes.

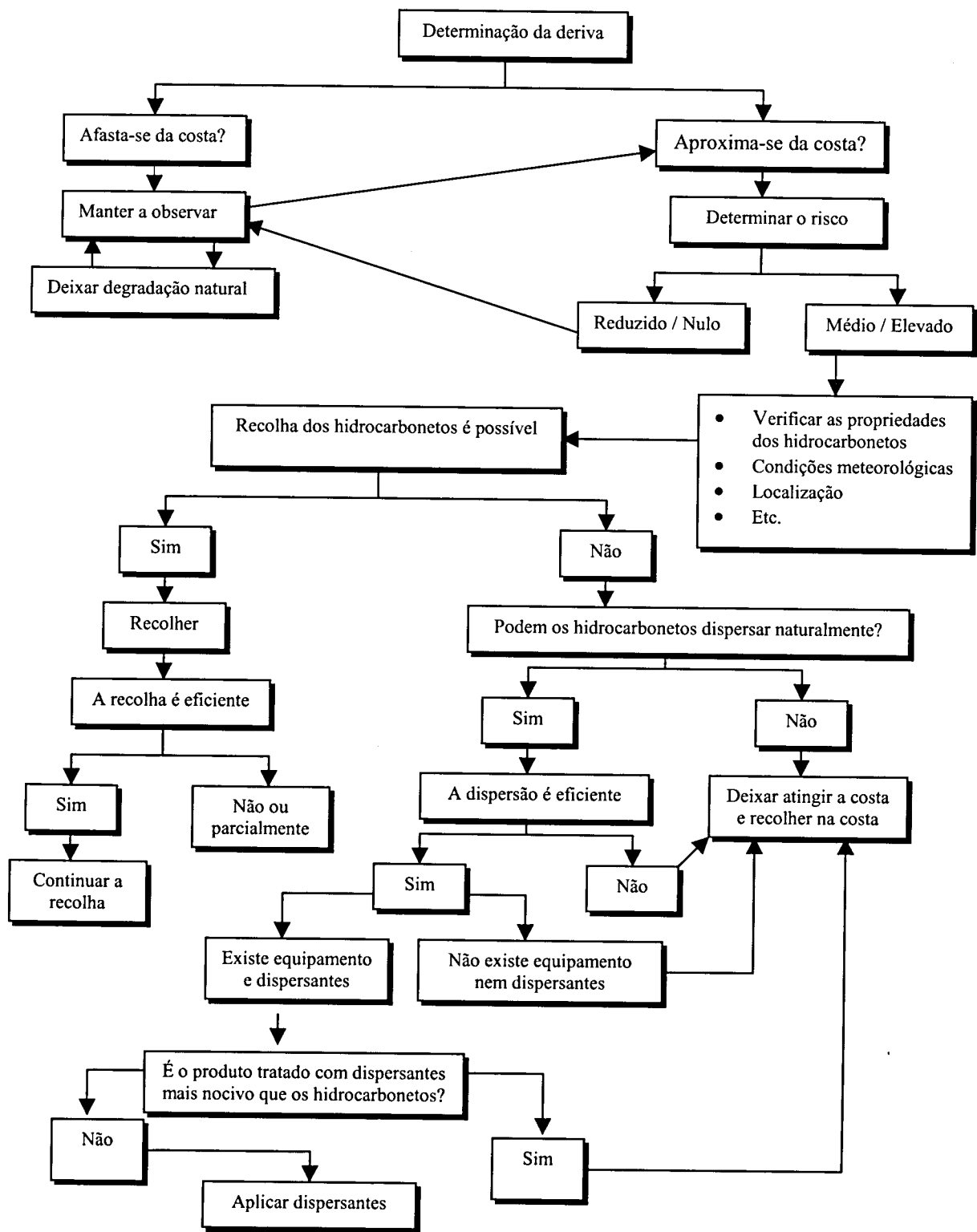


Figura 5.2-Aspectos a considerar na decisão para a aplicação de dispersantes (OCINF-IPIECA, 1981)

g) Vantagens da Utilização de Dispersantes num Derrame

- ❑ Em contraste com a contenção e a recolha mecânica, os dispersantes podem ser utilizados em correntes fortes e piores estados do mar.
- ❑ Evitam a chegada à linha de costa de massas compactas de hidrocarbonetos.
- ❑ Inibem a formação de «mousse de chocolate».
- ❑ É muitas vezes a resposta mais rápida.
- ❑ Pela remoção dos hidrocarbonetos da superfície anula-se o efeito do vento na mancha derramada, o que pode evitar o seu movimento para a costa.
- ❑ Reduz-se a contaminação das aves e mamíferos marinhos.
- ❑ Aumenta-se a área sujeita à biodegradação natural.

h) Desvantagens da Utilização de Dispersantes

- ❑ A introdução dos hidrocarbonetos na coluna de água pode ter efeitos nocivos para os organismos marinhos, que de outro modo não seriam atingidos pelos hidrocarbonetos.
- ❑ Se a dispersão dos hidrocarbonetos não foi conseguida, a eficácia da utilização de outros métodos de combate à poluição por hidrocarbonetos, aos quais foram aplicados dispersantes, pode ser reduzida.
- ❑ Não é eficaz para todos os tipos de hidrocarbonetos e em todas as condições.
- ❑ Se usados em terra podem aumentar a penetração dos hidrocarbonetos nos sedimentos.
- ❑ Introduce uma quantidade adicional de substâncias estranhas no ambiente marinho.

i) Condições Influentes na Utilização de Dispersantes

O uso de dispersante depende de vários factores que influem na sua aplicação:

- ❑ propriedades (viscosidade, ponto de fluidez, composição do crude);
- ❑ condições ambientais (salinidade de água, temperatura de água, estado de mar);
- ❑ dispersante (tipo de formulação, método de aplicação e dosagem).

Embora conhecendo todas estas propriedades, é prestada atenção particular a propriedades como: viscosidade, ponto de fluidez, composição e tendência de formação de mousse de chocolate. Se o óleo fica semi-sólido (ponto de fluidez mais alto que a temperatura de água), a aplicação de dispersante é provavelmente não efectiva. A viscosidade do óleo derramado aumenta à medida que as fracções voláteis se evaporam.

Para se utilizar a tabela de decisão atrás referida importa considerar os seguintes aspectos (NOAA, 1992):

A taxa de dispersão natural depende das propriedades físicas dos hidrocarbonetos. No entanto, é possível obter uma indicação desta dispersão em função do tempo decorrido após o derrame, para uma altura da ondulação e volume constante.

É pois possível considerar que pequenos derrames desaparecem muito rapidamente da superfície da água enquanto grandes derrames, com ondas de reduzida altura, permanecem mais tempo na água.

O primeiro problema que se coloca é saber se o tempo que leva o produto a atingir uma zona sensível, segundo os cálculos da deriva, é inferior ou superior ao tempo de dispersão do produto (por evaporação, dispersão, etc.).

No caso de ser superior haverá ainda que ponderar sobre a possibilidade de recuperação no mar (contenção e recolha dinâmica).

Neste caso, com vagas acima de 1.5 metros, não é aconselhável a recuperação dinâmica pelo que o uso de dispersante será de considerar. É de notar, no entanto, que o aumento de altura da vaga provoca uma aceleração substancial da dispersão natural pelo que o uso de dispersante deverá ser ponderado.

Por outro lado, nem todos os hidrocarbonetos têm capacidade de serem dispersos quimicamente com dispersantes.

De um modo geral, considera-se que não têm características para serem dispersos quimicamente os seguintes tipos de hidrocarbonetos:

- ⇒ Hidrocarbonetos com fraca capacidade de espalhamento (ponto de fluidez superior à temperatura ambiente) e/ou
- ⇒ Emulsões (água/hidrocarbonetos) e/ou
- ⇒ Hidrocarbonetos de elevada viscosidade.

Hidrocarbonetos de derrames recentes são susceptíveis de dispersão química mas com a exposição prolongada perdem os seus componentes voláteis e formam emulsões água/hidrocarbonetos.

Este fenómeno de «envelhecimento» ou «exposição ao tempo» provoca uma alteração nas características dos hidrocarbonetos pelo que a dispersão de uma mancha varia com o tempo. A evaporação dos voláteis origina um aumento do ponto de fluidez e da viscosidade.

O ponto de fluidez («pour point») de alguns petróleos brutos pode subir facilmente acima da temperatura da água. Nestes casos é evidente que o tempo disponível para a aplicação de dispersantes é limitado. A viscosidade também aumenta pela incorporação de água no hidrocarboneto.

O espaço de tempo disponível para aplicação de dispersantes pode ser de apenas algumas horas.

É recomendado que a aplicação de dispersante tenha como limite de viscosidade 2000 cSt.

A título de exemplo pode verificar-se que 2 000 cSt são atingidos quando, para o crude (Kuwait), se evaporou uma fracção de 38%.

Outro tipo de situação, em que a utilização de dispersantes é contra-indicada, verifica-se na 3.^a fase de espalhamento, quando se formam películas muito finas de hidrocarbonetos, em que a força dos tensioactivos provoca a contracção do espalhamento evitando a sua dispersão.

5.4 Sistemas de Aplicação de Dispersantes

I. Aplicação a partir de Aeronaves

Os dispersantes para aplicação a partir de aeronaves são do tipo concentrado, sem qualquer diluição.

Segundo ITOPF (1982), o sistema é constituído por uma bomba (por vezes accionada a ar) e braços de pulverização com orifícios calibrados destinados à distribuição do dispersante. A regularidade e uniformidade da aplicação depende fundamentalmente das condições de voo, nomeadamente:

- ☐ o voo deve efectuar-se na direcção do vento;
- ☐ a aeronave deve voar o mais baixo possível.

a) Helicópteros

O sistema é constituído por grupos autónomos compactos suspensos, o que permite utilizar helicópteros sem qualquer preparação prévia. Os grupos autónomos têm capacidades compreendidas entre 500 e 3 000 litros. Por outro lado, a capacidade de transporte dos helicópteros está restrita a zonas costeiras ou próximas de um transportador de helicópteros.

Em condições normais de voo as taxas de tratamento variam entre 80 a 200 l/ha numa largura de 15 a 20 m.

b) Aviões

O material é integrado no avião (reservatório e bomba no interior ou sob a fuselagem e braços de pulverização nas asas ou cauda).

Os monomotores são pequenas aeronaves concebidas para aplicação de aditivos para a agricultura que podem ser convertidas para a aplicação de dispersantes. São aparelhos com exploração muito fácil que necessitam de pistas rudimentares, uma vez que voam a baixas velocidades (100 a 200 km/h) e a baixas altitudes (alguns metros). Têm todavia capacidades limitadas (0.5 a 1.5 toneladas) e raios de acção limitados, o que só permite a sua utilização junto da costa.

Podem atingir taxas de 50 a 100 l/ha com larguras de 15 a 20 m.

Os aparelhos com vários motores são normalmente grandes aparelhos capazes de transportar grandes quantidades de dispersantes (5 a 13 t) em missões a várias centenas de quilómetros da costa. Necessitam de um aeroporto com pista de 1 000 a 1 500 m. Voam a elevadas velocidades (200 a 400 km/h) e a altitudes superiores durante a pulverização (10 a 30 m), o que é prejudicial para a precisão da aplicação. Conseguem-se taxas de aplicação de 50 a 100 l/ha e larguras de 20 a 40 m. Podem, quando lançam pela cauda uma elevada concentração, tratar derrames de espessura elevada.

II. Aplicação a partir de Navios (ITOPF, 1982)

Aplicação de Dispersantes Diluídos com Água do Mar

a) Por Meio de Ejector

Os dispersantes podem ser diluídos na água do mar com recurso a um ejector ligado ao colector de incêndio do navio. Na extremidade do circuito o produto é aplicado com recurso a braços de pulverização ou espalhadores especiais.

Para que o produto tenha eficácia aceitável, a diluição não deve ser inferior a 10%. Como o funcionamento do ejector é muito sensível (variações de pressão, entupimento, etc.) esta percentagem nem sempre é conseguida.

Neste sistema os débitos de água e dispersante são constantes.

Em geral, os braços de pulverização têm 5 metros e o navio deve ter uma velocidade de 4 a 6 nós, obtendo-se aplicações de cerca de 100 l/ha.

b) Por Meio de Equipamento Autónomo

O sistema, de um modo geral, é constituído por duas bombas (uma de água e outra de dispersante) que alimentam os pulverizadores, o que permite uma certa regulação entre determinados valores (diluições de 10% a 30%).

Esta possibilidade é muito útil pois permite adaptar a aplicação à quantidade de hidrocarbonetos a tratar variando as taxas de dispersante entre 100 e 250 l/ha.

Os barcos de pulverização têm entre 5 e 10 metros e permitem velocidades do navio de 4 a 8 nós.

A diluição dos dispersantes torna-os menos eficazes (especialmente a partir dos 500 cSt) pelo que a tendência actual é da aplicação no estado puro.

A aplicação pode ser efectuada por:

- a) Com canhão de Jacto Insuflado. Baseia-se em equipamento agrícola. O dispersante é injectado numa forte corrente de ar produzida por um ventilador axial que o projecta de 20 a 30 metros. É um dispositivo ligeiro e compacto que evita os braços de pulverização e os problemas com eles relacionados. Contudo a aplicação é muito irregular e muito sensível ao vento.

- b) Com dispositivos com Braços de Pulverização. São idênticos aos anteriormente mencionados, mas em que os pulverizadores devem estar o mais perto possível da água. Em geral, os débitos não são reguláveis e a taxa de aplicação é constante e determinada pela dimensão dos pulverizadores.

Os braços de pulverização podem atingir os 15 metros.

Há sistema que têm pulverizadores de diversas dimensões para permitir variar a taxa de aplicação.

É possível variar dos 50 a 350 l/ha, a um velocidade de 7 nós.

Na figura 5.3 apresentam-se a eficácia dos dispersantes para diferentes viscosidades (Harrison *et al.*, 1975).

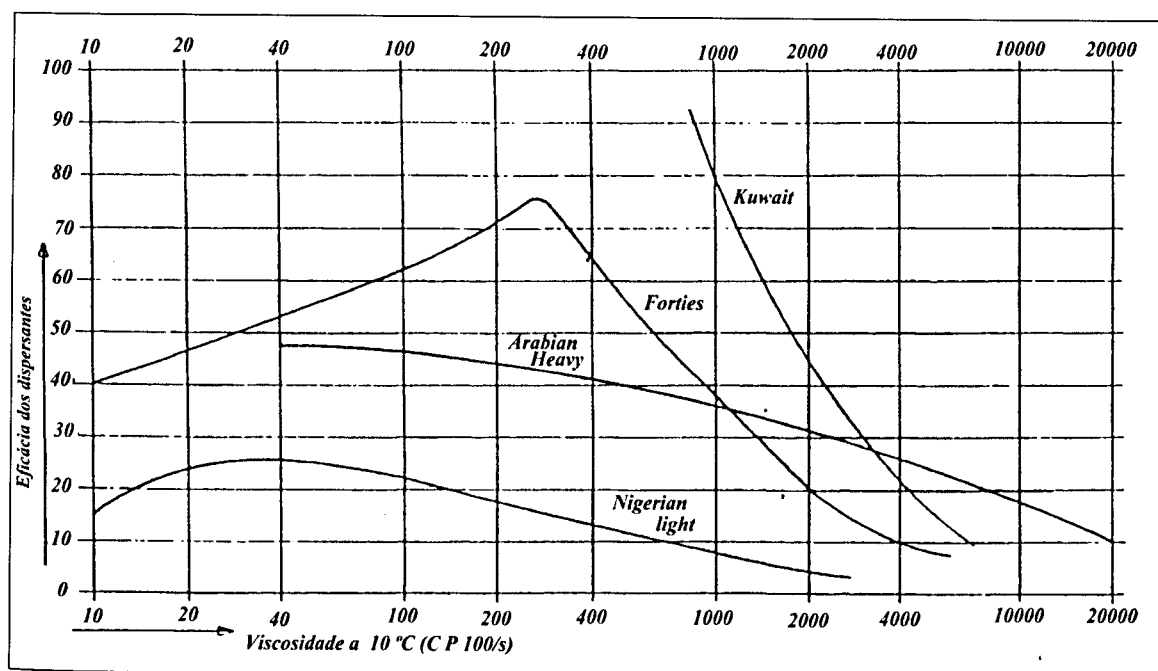


Figura 5.3- Eficiência dos dispersantes para diferentes viscosidade (Harrison *et al.*, 1982)

6. TÉCNICAS COMPLEMENTARES DE COMBATE A DERRAMES DE HIDROCARBONETOS

6.1 Absorventes

Há produtos que proporcionam quer a fixação quer a aglomeração dos hidrocarbonetos flutuantes à superfície da água, continuando após estarem impregnados, devido a sua baixa densidade (Nelson, 1998).

Actuam quer por absorção quer por adsorção. A absorção ocorre quando uma substância, neste caso os hidrocarbonetos, penetra no interior de outra; a adsorção, por outro lado, tem lugar quando uma substância é atraída e adere à superfície de outra.

Regra geral, estes materiais não desempenham o papel principal nas operações de limpeza de grandes derrames de hidrocarbonetos, sendo neste caso normalmente usados na fase final da limpeza para remoção dos hidrocarbonetos em áreas inacessíveis aos recuperadores.

A capacidade de adsorção de um material depende da extensão da superfície à qual os hidrocarbonetos podem aderir; quando maior a área, maior será a sua capacidade de adsorção. Por outro lado, os absorventes funcionam por acção capilar e, portanto, quanto mais porosa for a substância, maior a possibilidade dos hidrocarbonetos penetrarem nos seus capilares. Contudo, esta capacidade está intimamente relacionada com a densidade e viscosidade dos hidrocarbonetos derramados.

O uso de absorventes flutuantes para aplicação em derrames de hidrocarbonetos constitui uma técnica eficiente largamente utilizada em terra e nos portos para recolher pequenos derrames.

Existem produtos baratos, como por exemplo, palha ou tiras de pano, de utilização expedita para aglomerar pequenos derrames nos portos e proceder à sua recolha com redes. Contudo, é preferível o uso de produtos específicos com propriedades oleofílicas e hidrofóbicas.

O uso de absorventes no mar, para facilitar a recolha de grandes quantidades de hidrocarbonetos derramados, origina problemas técnicos e logísticos relacionados tanto com as características dos absorventes como com o método de aplicação (Concawe, 1981).

Um grande volume de hidrocarbonetos poderá requerer o uso de uma quantidade considerável de absorvente, o qual terá de ser previamente fornecido, armazenado, transportado para o local do acidente e aplicado, recolhido após mistura com os hidrocarbonetos e finalmente eliminado.

Sendo as quantidades de absorventes necessárias para tratamento de grandes derrames tão elevadas, estes produtos apenas são considerados para tratamento de poluições médias ou pequenas (poucas dezenas de toneladas ou toneladas). Nestes casos, os absorventes podem ser usados tanto na costa, como nas praias e na recolha de produtos provenientes de limpeza de rochas.

6.1.1 Absorventes a Granel

De acordo com o API (1985) os absorventes agrupam-se em três classes:

- ⇒ Materiais minerais (tratados para se tornarem oleofílicos): perlite expandida, vermiculite, etc.
- ⇒ Materiais de origem vegetal ou animal (tratados ou não): serradura, aparas e fibras de madeira, palha de trigo, carolos de milho, detritos de couro, etc.
- ⇒ Materiais polímeros de síntese (produtos manufacturados, produtos de recuperação e subprodutos industriais): poliestireno, poliuretano, polipropileno, pó de borracha, resinas epóxicas, etc.

As principais propriedades que os absorventes a granel devem possuir são:

- ⇒ Flutuabilidade
- ⇒ Selectividade hidrocarbonetos/água (função das suas propriedades oleofílicas e hidrofóbicas)
- ⇒ Capacidade de absorção
- ⇒ Consistência dos aglomerados
- ⇒ Possibilidade de reutilização
- ⇒ Método de eliminação.

A sua densidade varia entre 0.04 e 0.3 e a capacidade de absorção, função das características do absorvente e do tipo de hidrocarbonetos, varia na razão de uma parte de absorvente para 0.5 a 25 partes de hidrocarbonetos derramados.

O preço do produto pode ser um factor importante a ter em conta, mas não deverá menosprezar-se a sua eficácia, a sua facilidade de aplicação, a sua não toxicidade para o meio marinho, quantidade a utilizar e métodos de eliminação.

Os resultados no mar, no caso de grandes derrames, muitas vezes são satisfatórios, colocando problemas de aplicação e recolha. Na aplicação usam-se com frequência equipamentos de projecção por ar.

Alguns materiais, como a serradura e a turfa, têm como inconveniente, após impregnados, o facto de tenderem a afundar-se criando problemas adicionais.

Como exemplo, pode referir-se o ocorrido durante o acidente com derrame do “Torrey Canyon” em que foram utilizadas 20 000 toneladas de serradura e aparas de madeira que acabaram por se afundar ou chegar às praias.

Por outro lado, a utilização deste tipo de produtos coloca problemas sérios de recolha e eliminação.

A eficiência da recolha de hidrocarbonetos através de absorventes de origem mineral é ligeiramente superior à dos produtos naturais e varia entre 4 e 8 vezes o seu próprio peso. São, via de regra, produtos muito leves e, portanto, a sua distribuição é por vezes dificultada pela acção do vento.

Outra desvantagens são as irritações do sistema respiratório por inalação das poeiras (o que recomenda o uso de máscaras) e a sua persistência no meio ambiente (não biodegradável), o que implica a sua recolha completa.

Os absorventes sintéticos, usados normalmente sob a forma de espumas ou fibras, oferecem uma elevada eficiência de recolha.

Os absorventes de espuma sintética são os mais eficazes (poliuretanos, por exemplo), independentemente da viscosidade dos hidrocarbonetos. A espuma de poliuretano é obtida no local pela mistura de dois líquidos que se expandem.

Os absorventes de fibras sintéticas são os que revelam maior eficácia com hidrocarbonetos de elevada viscosidade.

Os absorventes de origem vegetal, como sejam as fibras celulósicas, revelam-se eficazes para uma vasta gama de hidrocarbonetos até viscosidades de 1 500 Redwood, com uma capacidade de absorção de cinco a dez vezes o seu peso, são não-tóxicos, de fácil manuseamento e a sua eliminação pode ser feita por incineração ou por queima controlada (tipo de produto recolhido e pequenas quantidades).

6.1.2 Barreiras Absorventes, Almofadas, Rolos e Placas

Segundo o API (1986) existem produtos absorventes manufacturados sob a forma de barreiras, almofadas, rolos e placas que podem ser utilizados para a contenção e/ou recolha de pequenos derrames de hidrocarbonetos ou na fase final de operações de limpeza de grandes derrames depois de efectuada a sua recolha por outros meios.

Estes produtos, sendo mais fáceis de utilizar do que os pós e as partículas finais, revelam no entanto uma eficácia limitada em relação aos hidrocarbonetos pesados (absorção lenta), além de que os seus custos são bastante elevados para uso em grandes derrames. Contudo, os rolos e placas em polipropileno são capazes de absorver os hidrocarbonetos até 25 vezes o seu próprio peso, dada a relação área/peso.

Os sistemas para recolha de absorventes saturados de hidrocarbonetos no caso de grandes derrames no mar têm sido desenvolvidos apenas recentemente e, por esse facto, são ainda escassos.

Recentemente foi desenvolvido pelo IFP (Instituto Francês do Petróleo) um sistema constituído por uma rede rebocada, em forma de saco e provida de uma abertura de cerca de 20 metros, capaz de recolher entre 2 e 8 m³ do produto. Contudo, ainda que o sistema seja eficaz, coloca alguns problemas pois a manobra torna-se difícil devido ao seu peso.

Uso de Absorventes nas Praias

O uso de absorventes na praia tem sido estudado nos seguintes casos:

- ⇒ Tratamento de derrames de hidrocarbonetos em praias de areia com vista a facilitar a sua recolha.
- ⇒ Fixação dos hidrocarbonetos libertados durante as operações de limpeza das praias e das rochas.

Em ambos os casos os resultados obtidos não são muitas vezes completamente satisfatórios devido às dificuldades na sua aplicação, face à aderência dos hidrocarbonetos às areias.

O seu uso deve, portanto, ser restrito às situações para as quais métodos de recolha mais comuns apresentam fracos resultados ou sejam de natureza impraticável e também para obter a fixação dos hidrocarbonetos, melhorando assim a sua fluatuabilidade e facilidade de recolha.

Derrames de Hidrocarbonetos (em Águas Sujas a Correntes)

Os derrames nesta situação os de mais difícil resolução, em especial em rios com correntes fortes ou condições de vento excessivas.

Existem duas prioridades (NOAA, 1992):

- ❑ Identificação da fonte poluidora e, se possível, a sua eliminação ou isolamento.
- ❑ Contenção dos hidrocarbonetos.

Se o derrame não puder ser interrompido, devem ser lançadas barreiras absorventes junto à sua origem.

Muitas vezes poderá ser necessário colocar uma barreira absorvente a seguir à primeira para actuar como reforço.

Pode também ser conveniente a colocação de barreiras convencionais com suficiente calado para impedir a passagem dos hidrocarbonetos. Estas devem ser montadas a seguir às barreiras absorventes, em relação ao sentido da corrente. Pode igualmente haver necessidade de se recorrer ao uso de rolos, placas, etc., para reduzir a quantidade de produtos ainda existentes na água.

Derrames em Docas e Portos

Nestes casos é recomendável o uso de barreiras absorventes e de produtos à base de fibras soltas ou polímeros de síntese para situações envolvendo cargas e descargas de hidrocarbonetos nos portos, podendo, também, ser conveniente o uso simultâneo de barreiras convencionais.

Em cantos de docas, cais, escadas, convés de navios e casas de máquinas, as barreiras e fibras soltas, rolos e placas são realmente eficazes, ainda que no último caso se devam usar almofadas para impedir a obstrução dos circuitos de esgotos (ITOPF, 1983).

Recolha e Eliminação dos Absorventes

Após a recolha dos absorventes em sacos de plástico devem ser fechados e enviados para local previamente determinado para armazenagem intermédia, tendo em vista a sua posterior eliminação.

Por regra, estes resíduos devem ser incinerados em instalação adequada ou sujeitos a queima controlada (tipo do produto recolhido e pequenas quantidades), nunca devendo ser despejados em valas, lixeiras ou outro tipo de terrenos devido aos problemas de infiltração no solo e consequente contaminação das camadas freáticas.

Durante a queima controlada ou incineração da maioria dos absorventes não se verifica a libertação de gases tóxicos, sendo os únicos libertados os resultantes da combustão dos próprios hidrocarbonetos.

Alguns tipos de absorventes impregnados de hidrocarbonetos podem voltar a ser utilizados após terem sido completamente espremidos (ITOPF, 1983).

6.2 Utilização de Produtos Gelificantes

A gelificação é obtida criando no interior da película de hidrocarbonetos uma rede sólida a três dimensões na qual os hidrocarbonetos são retidos, com o objectivo de os coagular ou solidificar, tendo em vista auxiliar a sua posterior recolha (NOAA, 1992).

A rede sólida pode ser obtida a partir:

- ▣ da reacção térmica entre dois componentes usados puros ou diluídos; ou
- ▣ da pulverização de um produto diluído num solvente, o qual é então eliminado por evaporação ou diluição parcial na água do mar.

Devido a eventuais interacções com a água do mar e à necessidade de uma difusão dos componentes na película dos hidrocarbonetos, somente alguns produtos são adequados para hidrocarbonetos flutuando na água.

Para a selecção dos produtos adequados poderão ser realizadas experiências laboratoriais recorrendo a um método similar ao usado para os absorventes.

Após vários ensaios foi seleccionado um agente gelificante e testado com êxito no mar.

Verifica-se, no entanto, que o seu custo é muito elevado face às grandes quantidades necessárias (aproximadamente 30% da quantidade de hidrocarbonetos).

Foi entretanto, desenvolvido um novo produto menos dispendioso, sendo as quantidades exigidas cerca de 30 a 50% do total de hidrocarbonetos, função da sua natureza e do modo de utilização (Bobra, 1987).

O produto inclui dois componentes: um polímero e um agente aglutinador que podem ser pulverizados separadamente (duas mangueiras), sendo de excluir a utilização do sistema usual de pulverização de dispersantes.

Estes produtos são pouco utilizados quer devido às grandes quantidades necessárias, como ainda à dificuldade de mistura com os hidrocarbonetos.

O seu uso deve, portanto, ser limitado a pequenas poluições costeiras ou portuárias.

6.3 Utilização de Produtos Desemulsificantes

Estes produtos, constituídos por tensioactivos em solventes, servem para auxiliar o processo de recolha. Revelam-se, no entanto, pouco eficazes sobre emulsões de detritos viscosos e petróleos brutos muito asfálticos e são inoperantes em emulsões envelhecidas (Concawe, 1981).

6.4 Utilização de Bactérias

Esta técnica consiste na utilização de microrganismos que normalmente se encontram na mar, água e terra e, geralmente, incluem bactérias, leveduras e fungos. Alguns deles têm a capacidade de metabolizar os hidrocarbonetos e desempenhar um papel na degradação natural dos hidrocarbonetos derramados (Metcalf, 1991).

A degradação microbiológica dos hidrocarbonetos constitui um factor importante para o seu desaparecimento no mar. Contudo, perante condições adversas do mar, podem permanecer não degradados por décadas.

Faz-se notar que na maioria das vezes a degradação não leva ao completo desaparecimento dos hidrocarbonetos, isto é, à sua completa mineralização – formação de dióxido de carbono e água.

Além da degradação ocorrer apenas em camadas superficiais, trata-se de um processo lento, limitado pela temperatura ambiente e teor de oxigénio dissolvido na água.

Têm sido utilizados numerosos microrganismos na eliminação dos hidrocarbonetos, mas os mais vulgares são os bastonetes Gram Negativos, como sejam as *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Micrococci* *Corynebacteria*, *Nocardia*, *Candida* e *Penicillium*.

Com a adição de hidrocarbonetos multiplicam-se rapidamente e, em águas bem oxigenadas, podem atingir valores tais que conseguem oxidar hidrocarbonetos a taxas de 0.02 a 2 g/m³ por dia, entre 20°C e 30°C.

Recentemente, tem aparecido no mercado microrganismos artificialmente adaptados de modo a acelerar a degradação.

A degradação completa dos hidrocarbonetos a dióxido de carbono e água depende da interacção entre muitas espécies microbianas.

Alguns microrganismos degradam uma vasta gama de produtos, enquanto outros só são capazes de o fazer com um determinado hidrocarboneto. Por outro lado, algumas bactérias tentam impedir o crescimento de populações de outras bactérias.

Em França, no CEDRE (Brest), desde 1986 que estão sendo desenvolvidos ensaios de biodegradação de hidrocarbonetos recorrendo a bactérias marinhas adicionadas aos hidrocarbonetos, água salgada e nutrientes (azoto e fósforo). Este processo permite, ao fim de 10 horas, transformar 100 g de hidrocarbonetos misturados em 1 000 g de água em 100 mg de hidrocarbonetos na mesma quantidade de água. O processo está a ser desenvolvido e aperfeiçoado.

Os factores adicionais mais importante a considerar no processo de biodegradação são:

- o oxigénio;
- os nutrientes e factores de crescimentos (azoto, fósforo, sais minerais e vitaminas).

A temperatura constitui também um factor importante. Uma temperatura entre 25°C e 40°C é aquela em que o crescimento de um microrganismo é favorecido.

A actividade biológica no processo de degradação dos hidrocarbonetos não é ainda significativa comparada com o processo de evaporação e dispersão mecânica. Contudo, trata-se do mecanismo principal de degradação final e dissolução dos hidrocarbonetos dispersos.

6.5 Aglutinação

Esta técnica consiste na utilização de um agente aglutinador, como sendo um líquido puro ou uma solução contendo um componente que possui uma força de espalhamento na água superior à dos hidrocarbonetos derramados.

Por este facto, um aglutinador quando aplicado na água, na periferia de uma película fina de hidrocarbonetos, espalhar-se-á na superfície forçando-a a comprimir-se. Resulta desta acção uma redução drástica da área e um aumento da espessura dos hidrocarbonetos, o que virá a facilitar a sua recolha (ITOPF, 1983).

Podem ser aplicados a partir de uma embarcação ou de um helicóptero.

Estes produtos são da mesma família dos dispersantes, por serem ou conterem em si agentes tensioactivos.

Face à solubilidade na água são, contudo, distintos dos dispersantes em virtude do aglutinador permanecer activo por um período superior de tempo (persistência), uma vez que a película se mantém mais tempo intacta, e ter um menor efeito na CBO (Carência Bioquímica de Oxigénio) e toxicidade inferior na coluna de água.

O sistema apresenta algumas vantagens, nomeadamente:

- ⇒ a baixa taxa de aplicação (8 litros por quilómetro linear) não provocará efeitos adversos no meio marinho;
- ⇒ repetindo a aplicação cada 6 horas, a persistência do agente será mantida.
- ⇒ três aplicações com 6 horas de intervalo limitarão o agente aglutinador à quantidade mínima necessária para se conseguir a recolha dos hidrocarbonetos.

6.6 Afundamento

O afundamento dos hidrocarbonetos seria possível através da adição de materiais espalhados sobre a camada dos hidrocarbonetos derramados. Os agentes a usar podem ser a areia tratada quimicamente, cinzas, cimento e alguns tipos especiais de argila. Contudo, esta técnica não deve ser usada porque, em última análise, confere apenas um mero efeito estético às operações de limpeza. Além disso, levanta sérios problemas uma vez que, podendo o produto desprender-se dos materiais, iria contaminar áreas sensíveis afastadas e, por outro lado, sendo lenta a biodegradação no fundo do mar, iria favorecer a contaminação ou causar danos aos organismos vivos (ITOPF, 1983; API, 1993).

Estes inconvenientes baseiam-se nos seguintes factos:

- ❑ A fauna e flora do fundo marinho são afectadas seriamente pelo efeito de asfixia exercido pela massa de hidrocarbonetos e dos materiais.
- ❑ Os hidrocarbonetos atravessam um largo espectro de vida marinha, entre a superfície e o fundo, com possibilidade de obstruir as guelras dos organismos.
- ❑ Um efeito a longo prazo pode ser a migração dos hidrocarbonetos/materiais afundados para áreas mais vastas do que as inicialmente afectadas, espalhando-se os efeitos do derrame.
- ❑ Os hidrocarbonetos/materiais podem sujar as redes e os guinchos de pesca e causar mau sabor a espécies com valor comercial.

- Sob certas condições de turbulência e temperatura, os hidrocarbonetos podem ser libertados, causando-se, assim, numa poluição secundária com possível contaminação da costa.

6.7 Armazenagem e Transporte de Resíduos de Hidrocarbonetos

No seguimento das operações de limpeza torna-se necessário proceder à eliminação de grandes volumes de resíduos de hidrocarbonetos.

Esta situação coloca muitas vezes consideráveis problemas logísticos quanto a armazenagem e transporte. A maior parte das vezes, no âmbito dos planos de contingência, a existência de planos para armazenagem de resíduos recolhidos é negligenciada. Se assim não fosse muitos problemas poderiam ser evitados ou atenuados através de um planeamento prévio.

As autoridades devem designar com antecedência áreas onde possam ser criadas armazenagens primária ou intermédia e provisória. Devem estar previstos telas plásticas para a impermeabilização de valas, bem como a existência de sacos de plásticos.

Chama-se, no entanto, a atenção para o facto de que os sacos usados no transporte de resíduos de hidrocarbonetos tendem a deteriorar-se sob o efeito da luz solar ao fim de uma ou duas semanas deixando escapar o seu conteúdo. Por outro lado, se este é para ser prioritariamente tratado em vez de eliminado, será necessário despejar os sacos e seguidamente proceder à sua eliminação.

Outras opções podem ser consideradas, como seja a utilização de tambores de 200 l abertos no topo, especialmente aconselhados para armazenagem de hidrocarbonetos muito viscosos e emulsões. Para impedir a contaminação do solo na área utilizada para armazenagem provisória deve ser usado revestimento em plástico ou em borracha resistente. Podem igualmente ser utilizados tanques flexíveis com ou sem suporte, principalmente no início das operações de limpeza, no entanto inadequados para resíduos sólidos (calhaus, seixos, etc.).

Nos locais de potenciais derrames de hidrocarbonetos deve ser providenciada a existência de vias de acesso. Devem ser tomados cuidados especiais por forma a evitar problemas de poluição secundária ou de cheiros, criação de riscos de incêndios e incómodos de ordem geral.

Os locais de armazenagem não devem ser cheios até à máxima capacidade, pois têm ocorrido casos em que devido a chuvas intensas se verificou o extravasamento e a ocorrência de problemas de poluição posteriores. Este facto pode ser evitado pela drenagem da água do fundo das valas, por saída directa ou através de bombagem com aspiração do fundo.

Devido aos problemas criados no manuseamento dos resíduos, as emulsões devem ser quebradas o mais cedo possível e a água removida por forma a minimizar os problemas de manuseamento e os custos de transporte.

Quando os derrames ocorrem em zonas isoladas e inacessíveis da costa torna-se muito dispendioso proceder à recolha e ao transporte dos resíduos directamente para locais destinados ao seu tratamento ou eliminação (Nelson, 1998).

Armazenagem Primária ou Intermédia

Este tipo de armazenagem, utilizada enquanto decorrem as operações de recolha e de limpeza, deve situar-se num local de acesso fácil, com um único sentido de trânsito, quer para a entrada quer para a saída do local.

A distância à zona do derrame deve ser tão curta quanto possível e as estradas não pavimentadas ou de fraca consistência devem ser reforçadas com chapas metálicas. Também devem ser tomadas precauções contra eventuais derrames de hidrocarbonetos na estrada (API, 1995).

Resíduos Líquidos

Um processo relativamente simples, rápido e económico para impedir infiltrações de hidrocarbonetos nas camadas freáticas consiste na abertura de valas no solo revestidas interiormente com material impermeável a hidrocarbonetos pesados, tal como PVC, polietileno ou borracha altamente resistente (NOAA, 1996).

A experiência tem revelado que as valas compridas e estreitas (10 m de comprimento por 2 a 3 m de largura e 1.5 a 2 m de profundidade) são mais práticas, visto serem fáceis de abrir, de encher e de vazar com a utilização de equipamento simples.

Nos locais onde o solo adjacente ao local do derrame não seja adequado para a construção de valas devem ser construídas paredes oblíquas reforçadas, usando terra apropriada com um declive na proporção de 3/2 (horizontal/vertical).

Quando altura da parede exceder 1 metro deve ser obtido o parecer de um engenheiro civil quanto à selecção do solo, método de compactação, teste e cuidados gerais na construção das paredes. O fundo e as paredes devem ser revestidos com material impermeável a hidrocarbonetos e o volume das valas deve ser limitado por forma a evitar o risco de ruptura das paredes por pressão hidrostática.

Deve ser tido em conta que as águas das chuvas ao acumularem-se podem ocasionar sobreenchimento e provocar derrames.

Deve igualmente ser assegurado que os veículos utilizados no transporte dos resíduos não danifiquem as paredes das valas.

As valas devem ser protegidas com cercas de vedação para segurança de pessoas e animais, devendo ser colocados letreiros de aviso de perigo.

Resíduos Pastosos/Sólidos

Estes tipos de resíduos devem ser armazenados em áreas revestidas por materiais impermeáveis e resistentes, rodeados por paredes reforçadas de modo a serem evitadas fugas e a sua destruição pela água.

Em emergência podem ser usadas barreiras de terra como paredes, com revestimento impermeável estendido do fundo até ao topo das barreiras.

Armazenagem Provisória

Este tipo de armazenagem depende da localização do derrame em relação ao local do método de eliminação e da capacidade das instalações intermédias de recepção. A armazenagem provisória, tendo em vista preparar os resíduos para eliminação, o que pode durar vários meses a um ou dois anos, pode ser realizada numa refinaria, num terminal ou em depósitos.

Torna-se, portanto, importante que os responsáveis por estes sectores sejam alertados para a necessidade da obtenção de espaços suplementares e meios para armazenagem adequados ao tipo de resíduos de hidrocarbonetos que se pretende armazenar.

Após esta fase de armazenagem, os resíduos de hidrocarbonetos deverão ser encaminhados para tratamento/eliminação.

Transporte de Resíduos

O transporte de resíduos processa-se geralmente em duas áreas distintas:

a) No mar:

- Em navio-tanques pequenos, barcaças ou tanques flutuantes flexíveis rebocáveis, para movimentação para terra dos hidrocarbonetos recolhidos.

b) Em terra:

- Em tanques flexíveis fechados ou abertos, veículos auto-tanques, etc., para movimentação de produtos líquidos, designadamente hidrocarbonetos e emulsões de baixa viscosidade. Pode ser utilizado qualquer veículo convencional para movimentação de líquidos recolhidos até ao local de eliminação. Em situações de emergências poderão ser improvisados outros meios, tais como cisternas de vácuo, veículos agrícolas ou tambores com tampa.
- Em tanques abertos com tampa, “dumpers”, contentores estanques, etc., para movimentação de sólidos e semi-sólidos, designadamente emulsões de elevada viscosidade, areia contaminada, seixos, pedras e outros resíduos. Os veículos convencionais usados para transporte de materiais sólidos poderão ser igualmente adequados. Neste caso deve ser evitado que os hidrocarbonetos possam escorrer dos veículos, recorrendo ao revestimento com plástico.

Face à solubilidade na água são, contudo, distintos dos dispersantes em virtude do aglutinador permanecer activo por um período superior de tempo (persistência), uma vez que a película se mantém mais tempo intacta, e ter um menor efeito na CBO (Carência Bioquímica de Oxigénio) e toxicidade inferior na coluna de água.

O sistema apresenta algumas vantagens, nomeadamente:

- ▣ a baixa taxa de aplicação (8 litros por quilómetro linear) não provocará efeitos adversos no meio marinho;
- ▣ repetindo a aplicação cada 6 horas, a persistência do agente será mantida.
- ▣ três aplicações com 6 horas de intervalo limitarão o agente aglutinador à quantidade mínima necessária para se conseguir a recolha dos hidrocarbonetos.

6.6 Afundamento

O afundamento dos hidrocarbonetos seria possível através da adição de materiais espalhados sobre a camada dos hidrocarbonetos derramados. Os agentes a usar podem ser a areia tratada quimicamente, cinzas, cimento e alguns tipos especiais de argila. Contudo, esta técnica não deve ser usada porque, em última análise, confere apenas um mero efeito estético às operações de limpeza. Além disso, levanta sérios problemas uma vez que, podendo o produto desprender-se dos materiais, iria contaminar áreas sensíveis afastadas e, por outro lado, sendo lenta a biodegradação no fundo do mar, iria favorecer a contaminação ou causar danos aos organismos vivos (ITOPF, 1983; API, 1993).

Estes inconvenientes baseiam-se nos seguintes factos:

- ❑ A fauna e flora do fundo marinho são afectadas seriamente pelo efeito de asfixia exercido pela massa de hidrocarbonetos e dos materiais.
- ❑ Os hidrocarbonetos atravessam um largo espectro de vida marinha, entre a superfície e o fundo, com possibilidade de obstruir as guelras dos organismos.
- ❑ Um efeito a longo prazo pode ser a migração dos hidrocarbonetos/materiais afundados para áreas mais vastas do que as inicialmente afectadas, espalhando-se os efeitos do derrame.
- ❑ Os hidrocarbonetos/materiais podem sujar as redes e os guinchos de pesca e causar mau sabor a espécies com valor comercial.

- Sob certas condições de turbulência e temperatura, os hidrocarbonetos podem ser libertados, causando-se, assim, numa poluição secundária com possível contaminação da costa.

6.7 Armazenagem e Transporte de Resíduos de Hidrocarbonetos

No seguimento das operações de limpeza torna-se necessário proceder à eliminação de grandes volumes de resíduos de hidrocarbonetos.

Esta situação coloca muitas vezes consideráveis problemas logísticos quanto a armazenagem e transporte. A maior parte das vezes, no âmbito dos planos de contingência, a existência de planos para armazenagem de resíduos recolhidos é negligenciada. Se assim não fosse muitos problemas poderiam ser evitados ou atenuados através de um planeamento prévio.

As autoridades devem designar com antecedência áreas onde possam ser criadas armazenagens primária ou intermédia e provisória. Devem estar previstos telas plásticas para a impermeabilização de valas, bem como a existência de sacos de plásticos.

Chama-se, no entanto, a atenção para o facto de que os sacos usados no transporte de resíduos de hidrocarbonetos tendem a deteriorar-se sob o efeito da luz solar ao fim de uma ou duas semanas deixando escapar o seu conteúdo. Por outro lado, se este é para ser prioritariamente tratado em vez de eliminado, será necessário despejar os sacos e seguidamente proceder à sua eliminação.

Outras opções podem ser consideradas, como seja a utilização de tambores de 200 l abertos no topo, especialmente aconselhados para armazenagem de hidrocarbonetos muito viscosos e emulsões. Para impedir a contaminação do solo na área utilizada para armazenagem provisória deve ser usado revestimento em plástico ou em borracha resistente. Podem igualmente ser utilizados tanques flexíveis com ou sem suporte, principalmente no início das operações de limpeza, no entanto inadequados para resíduos sólidos (calhaus, seixos, etc.).

Nos locais de potenciais derrames de hidrocarbonetos deve ser providenciada a existência de vias de acesso. Devem ser tomados cuidados especiais por forma a evitar problemas de poluição secundária ou de cheiros, criação de riscos de incêndios e incómodos de ordem geral.

Os locais de armazenagem não devem ser cheios até à máxima capacidade, pois têm ocorrido casos em que devido a chuvas intensas se verificou o extravasamento e a ocorrência de problemas de poluição posteriores. Este facto pode ser evitado pela drenagem da água do fundo das valas, por saída directa ou através de bombagem com aspiração do fundo.

Devido aos problemas criados no manuseamento dos resíduos, as emulsões devem ser quebradas o mais cedo possível e a água removida por forma a minimizar os problemas de manuseamento e os custos de transporte.

Quando os derrames ocorrem em zonas isoladas e inacessíveis da costa torna-se muito dispendioso proceder à recolha e ao transporte dos resíduos directamente para locais destinados ao seu tratamento ou eliminação (Nelson, 1998).

Armazenagem Primária ou Intermédia

Este tipo de armazenagem, utilizada enquanto decorrem as operações de recolha e de limpeza, deve situar-se num local de acesso fácil, com um único sentido de trânsito, quer para a entrada quer para a saída do local.

A distância à zona do derrame deve ser tão curta quanto possível e as estradas não pavimentadas ou de fraca consistência devem ser reforçadas com chapas metálicas. Também devem ser tomadas precauções contra eventuais derrames de hidrocarbonetos na estrada (API, 1995).

Resíduos Líquidos

Um processo relativamente simples, rápido e económico para impedir infiltrações de hidrocarbonetos nas camadas freáticas consiste na abertura de valas no solo revestidas interiormente com material impermeável a hidrocarbonetos pesados, tal como PVC, polietileno ou borracha altamente resistente (NOAA, 1996).

A experiência tem revelado que as valas compridas e estreitas (10 m de comprimento por 2 a 3 m de largura e 1.5 a 2 m de profundidade) são mais práticas, visto serem fáceis de abrir, de encher e de vazar com a utilização de equipamento simples.

Nos locais onde o solo adjacente ao local do derrame não seja adequado para a construção de valas devem ser construídas paredes oblíquas reforçadas, usando terra apropriada com um declive na proporção de 3/2 (horizontal/vertical).

Quando altura da parede exceder 1 metro deve ser obtido o parecer de um engenheiro civil quanto à selecção do solo, método de compactação, teste e cuidados gerais na construção das paredes. O fundo e as paredes devem ser revestidos com material impermeável a hidrocarbonetos e o volume das valas deve ser limitado por forma a evitar o risco de ruptura das paredes por pressão hidrostática.

Deve ser tido em conta que as águas das chuvas ao acumularem-se podem ocasionar sobreenchimento e provocar derrames.

Deve igualmente ser assegurado que os veículos utilizados no transporte dos resíduos não danifiquem as paredes das valas.

As valas devem ser protegidas com cercas de vedação para segurança de pessoas e animais, devendo ser colocados letreiros de aviso de perigo.

Resíduos Pastosos/Sólidos

Estes tipos de resíduos devem ser armazenados em áreas revestidas por materiais impermeáveis e resistentes, rodeados por paredes reforçadas de modo a serem evitadas fugas e a sua destruição pela água.

Em emergência podem ser usadas barreiras de terra como paredes, com revestimento impermeável estendido do fundo até ao topo das barreiras.

Armazenagem Provisória

Este tipo de armazenagem depende da localização do derrame em relação ao local do método de eliminação e da capacidade das instalações intermédias de recepção. A armazenagem provisória, tendo em vista preparar os resíduos para eliminação, o que pode durar vários meses a um ou dois anos, pode ser realizada numa refinaria, num terminal ou em depósitos.

Torna-se, portanto, importante que os responsáveis por estes sectores sejam alertados para a necessidade da obtenção de espaços suplementares e meios para armazenagem adequados ao tipo de resíduos de hidrocarbonetos que se pretende armazenar.

Após esta fase de armazenagem, os resíduos de hidrocarbonetos deverão ser encaminhados para tratamento/eliminação.

Transporte de Resíduos

O transporte de resíduos processa-se geralmente em duas áreas distintas:

a) No mar:

- ❑ Em navio-tanques pequenos, barças ou tanques flutuantes flexíveis rebocáveis, para movimentação para terra dos hidrocarbonetos recolhidos.

b) Em terra:

- ❑ Em tanques flexíveis fechados ou abertos, veículos auto-tanques, etc., para movimentação de produtos líquidos, designadamente hidrocarbonetos e emulsões de baixa viscosidade. Pode ser utilizado qualquer veículo convencional para movimentação de líquidos recolhidos até ao local de eliminação. Em situações de emergências poderão ser improvisados outros meios, tais como cisternas de vácuo, veículos agrícolas ou tambores com tampa.
- ❑ Em tanques abertos com tampa, “dumpers”, contentores estanques, etc., para movimentação de sólidos e semi-sólidos, designadamente emulsões de elevada viscosidade, areia contaminada, seixos, pedras e outros resíduos. Os veículos convencionais usados para transporte de materiais sólidos poderão ser igualmente adequados. Neste caso deve ser evitado que os hidrocarbonetos possam escorrer dos veículos, recorrendo ao revestimento com plástico.

6.8 Tratamento/Eliminação de Resíduos

Em certas circunstâncias é possível processamento em refinarias dos resíduos recolhidos. Para o efeito torna-se necessário que a qualidade do produto seja aceitável, que seja susceptível de bombagem, que possua baixo teor em sólidos e que o conteúdo em sal seja inferior a 0.1% para processamento ou inferior a 0.5% para mistura com fuel-óleo (ITOPF, 1981). As partículas de reduzidas dimensões podem ser removidas através da passagem do produto por uma rede metálica.

Os hidrocarbonetos recolhidos do mar são normalmente separados por gravidade de água associada, sendo esta retirada por drenagem ou por bombagem.

A extracção da água em emulsões água-no-óleo (“mousse de chocolate”) torna-se sempre mais difícil. As emulsões instáveis podem ser quebradas por tratamento a quente a uma temperatura entre 60 e 80°C, permitindo assim a separação por gravidade.

Para algumas emulsões mais estáveis pode haver necessidade de se recorrer ao uso de produtos químicos designados por desemulsificantes. Estes produtos tendem a reduzir a viscosidade da maioria dos hidrocarbonetos tornando mais fácil a bombagem.

Não existindo um produto químico adequado para todos os tipos de emulsões poderá ser necessário efectuar experiências no local para determinar qual o produto mais eficaz e a dose apropriada.

Experiências recentes vieram demonstrar que as emulsões podem ser parcialmente quebradas misturando-as completamente com areia em equipamento do tipo das betoneiras. Por vezes é possível retirar os hidrocarbonetos contidos na areia contaminada da praia mediante a lavagem com água a que se associa um solvente (gasóleo, por exemplo).

Devido à diferença de densidade entre a água e os hidrocarbonetos é possível obter a separação por gravidade. Sendo os hidrocarbonetos mais leves do que a água eles tendem a ficar à superfície e a água tende a assentar no fundo de um tanque. A água é drenada do fundo e os hidrocarbonetos são aspirados à superfície.

6.8.1 Métodos de Tratamento/Eliminação “uso de Bactérias”

Podem ser usados os seguintes métodos para a eliminação dos resíduos de hidrocarbonetos recolhidos após um derrame (API, 1985):

- a) Reutilização
- b) Estabilização
- c) Deposição
- d) Destruição

Obviamente deve ser dada prioridade ao método de reutilização dos hidrocarbonetos recolhidos e só no caso de tal não ser praticável se deverá encarar outro método.

a) Reutilização

Os utilizadores potenciais destes hidrocarbonetos poderão ser as refinarias, instalações de tratamento de resíduos de hidrocarbonetos, indústrias e empresas dedicadas a trabalhos rodoviários.

Num processo desenvolvido para tratamento de areias contendo hidrocarbonetos, a areia contaminada é misturada com um desemulsificador em placas aquecidas, sendo os hidrocarbonetos recolhidos por condensação e os sólidos posteriormente queimados em instalações para aquecimento se o seu conteúdo em hidrocarbonetos for suficientemente elevado.

Em teoria os resíduos líquidos de fuel-óleo podem ser usados como combustível para a produção de calor. Contudo, as especificações de qualidade do fuel são restritivas, nomeadamente no que se refere aos aspectos de segurança (percentagem de hidrocarbonetos leves), corrosão (alto teor em cloretos) e presença de sólidos em suspensão (não desejáveis).

b) Estabilização

Grandes quantidades de resíduos de hidrocarbonetos podem ser estabilizados misturando-os com um agente de ligação, por exemplo cal viva, podendo o produto obtido ser utilizado na construção de estradas.

A cal viva é misturada com os resíduos numa percentagem de 5 a 20% (que pode ser determinada experimentalmente), quer em instalações de mistura móveis ou fixas, quer por técnicas de sobreposição de camadas.

Este método é particularmente eficaz para o tratamento de areia contaminada com hidrocarbonetos.

c) Deposição

Espalhamento no Solo (“land-farming”)

Este método de eliminação de resíduos de hidrocarbonetos é baseado no bem conhecido facto de que certos microrganismos podem oxidar os hidrocarbonetos, resultando daí a sua biodegradação.

Pode revelar-se particularmente eficaz na região Mediterrânica visto a velocidade de degradação depender das temperaturas ambientais e nesta região estas permanecerem relativamente altas durante todo o ano.

O requisito principal é o da existência de uma área relativamente grande de terreno de baixo valor económico. A permeabilidade do solo deve ser baixa para evitar a possível contaminação das camadas freáticas. O único equipamento necessário é a maquinaria agrícola tradicional. Caso necessário, o valor do pH do solo pode ser ajustado para um valor superior a 6.6 mediante a utilização de cal.

A superfície do terreno seleccionado é primeiramente lavrada e posteriormente são construídos alguns canais para drenagem das águas da chuva que podem ser canalizadas para uma pequena bacia de contenção.

Os resíduos de hidrocarbonetos são espalhados numa camada de 0.02 m a 0.2 m de espessura sobre o terreno, sendo deixados à acção do tempo.

Durante os primeiros seis meses a camada deve ser revolvida uma vez por mês com a finalidade de aumentar o arejamento, mas posteriormente esta operação pode ser efectuada com menos frequência.

Quando os resíduos já se encontram secos, são misturados com a terra recorrendo à utilização de um arado ou de uma grade de disco.

A degradação completa dos hidrocarbonetos tratados por este processo pode ser conseguida ao fim de um período de um a três anos. O grau de biodegradação pode ser acelerado pela adição de fertilizantes, por exemplo ureia e fosfato de amónia.

A dose típica recomendada é de 10 partes de azoto e 1 parte de fósforo para 100 partes de hidrocarbonetos.

No período seguinte à degradação dos hidrocarbonetos a terra poderá ser utilizada para cultivo, nomeadamente relva, plantas decorativas e árvores.

No caso de serem efectuadas colheitas em terras que previamente tenham sido usadas para decomposição aeróbia de resíduos de hidrocarbonetos, deverá proceder-se à sua monitorização regular para detecção da presença eventual de metais pesados.

Formação de Adubos

Um outro processo de degradação biológica dos resíduos de hidrocarbonetos consiste na formação de adubos, isto é, a conversão biológica dos resíduos em matéria orgânica estável.

Este processo pode ser obtido quer pela adição dos detritos de hidrocarbonetos a lixos domésticos quer adicionando-os a absorventes naturais, tais como serradura, aparas de madeira, etc.

No caso da mistura com lixos domésticos, uma das técnicas consiste em espalhar sobre a camada destes desperdícios pequenas quantidades dos hidrocarbonetos (1 a 2% do peso total dos lixos domésticos), sendo estes por sua vez cobertos com outra camada espessa de lixos. Outra técnica consiste em misturar os resíduos de hidrocarbonetos com os lixos e depositar esta mistura em valas pouco profundas tapadas com uma camada de argila. A mistura depositada é coberta com terra e assim deixada por vários meses, resultando um resíduo compacto e inerte.

Uma vez que a decomposição bacteriana dos hidrocarbonetos é um processo exotérmico, o calor desenvolvido na mistura resultará numa diminuição da viscosidade dos hidrocarbonetos podendo originar a sua infiltração.

Se forem muito grandes as quantidades de resíduos de hidrocarbonetos adicionadas aos lixos domésticos, a maioria dos hidrocarbonetos infiltrar-se-ão e não serão transformados.

A adição de produtos biológicos, tais como desperdícios de origem vegetal ou animal, contribui para acelerar o processo de conversão dos materiais. Se forem utilizados absorventes naturais para a recolha de hidrocarbonetos, os detritos obtidos podem ser depositados em montes. O material resultante constitui um resíduo seco tipo adubo.

Ambos os métodos descritos apenas se revelam adequados para tratamento de quantidades limitadas de detritos.

Colocação em Aterro

A colocação em aterro de resíduos de hidrocarbonetos é muitas vezes a primeira reacção para dar resposta ao problema da eliminação. No entanto, este método, que deverá ser cuidadosamente planeado, só deverá ser aplicado se não existir a possibilidade de utilizar qualquer dos anteriormente referidos.

O local de vertimento deve ser previamente inspeccionado quando à sua impermeabilização por forma a impedir a possibilidade de contaminação de águas subterrâneas pelos hidrocarbonetos.

Os resíduos devem conter menos de 20% de hidrocarbonetos, devendo ser espalhados ao nível do solo antes de se proceder ao enchimento de buracos ou depressões.

O subsolo nas proximidades do local deve ser analisado periodicamente com vista a determinar a existência de eventuais fugas de hidrocarbonetos.

Os resíduos de hidrocarbonetos podem também ser descarregados aterros de RSU, uma vez que os lixos domésticos são capazes de absorver os hidrocarbonetos evitando assim a sua posterior infiltração.

Contudo, a camada dos detritos deverá ter uma espessura reduzida (10 cm) e ser coberta por 1 a 2 metros de lixo doméstico para evitar o ressurgimento dos hidrocarbonetos à superfície.

d) Destruição

Incineração

Têm sido desenvolvidos diferentes tipos de incineradores portáteis para a queima a alta temperatura de resíduos recolhidos durante as operações de limpeza de um derrame de hidrocarbonetos.

O forno tipo rotativo revela-se adequado para incineração de hidrocarbonetos com elevado conteúdo sólido (mais de 80%).

Os produtos resultantes são normalmente gases ambientalmente aceitáveis e materiais inertes (cascalho, areia, etc.).

Por vezes torna-se necessário juntar fuel-óleo devido ao baixo poder calorífico do material a incinerar.

No caso particular da queima da “mousse de chocolate”, o elevado conteúdo de água reduz o poder calorífico para um valor tal que a combustão não pode ser mantida sem o recurso a fuel-óleo.

Para uma “mousse de chocolate” com um poder calorífico inferior a 2 500 kcal/kg são necessários cerca de 25% em fuel-óleo, o que aumenta muito os custos da operação.

Os maiores inconvenientes do sistema são o elevado custo do equipamento e os custos adicionais do fuel-óleo.

Os incineradores de resíduos domésticos não são adequados para este efeito devido ao seu elevado conteúdo em sais dos resíduos (provocando corrosão pela presença de cloretos).

Os incineradores industriais, concebidos para operar com quantidades precisas de resíduos, poderão, embora dificilmente, lidar com os produtos resultantes das operações de limpeza de derrames de hidrocarbonetos.

Para pequenas quantidades poderá ser construído um “incinerador” simples a partir de um tambor metálico sem tampa superior.

O ar será fornecido por um compressor ou por um ventilador através de um tubo de aço de 3 a 5 cm de diâmetro, soldado tangencialmente e perto do topo do tambor. O fundo do tambor poderá ser substituído por uma grelha por forma a permitir a remoção contínua das cinzas e escórias. O “incinerador” é alimentado manualmente pela parte superior.

Queima

Poderão ser usados agentes de combustão como a gasolina, para promover a ignição e manter a combustão de hidrocarbonetos derramados, que de outro modo não arderiam.

Estes agentes são utilizados para queimar hidrocarbonetos contendo ainda alguns compostos voláteis, pois os de baixo ponto de inflamação são rapidamente evaporados para a atmosfera.

A queima directa dos resíduos de hidrocarbonetos recolhidos, por ser desaconselhável, raramente é praticada.

A queima incompleta, a poluição atmosférica e os problemas de eliminação dos resíduos de alcatrão são alguns dos inconvenientes deste método.

Apesar disso, se as condições permitirem a queima dos resíduos de uma maneira controlada, poderá ser aplicada, em especial, em locais isolados (NOAA, 1992).

A queima poderá ser melhorada se os hidrocarbonetos forem aquecidos e se lhes forem adicionados oxidantes sólidos (30% do peso dos hidrocarbonetos).

O método não é muito usado não só devido à existência de problemas de segurança e de poluição como também pelo facto de se verificar uma rápida migração e consequente perda dos hidrocarbonetos quentes, dada a sua reduzida viscosidade. Posteriormente formam-se resíduos de alcatrão não queimados criando problemas de difícil eliminação.

Têm sido desenvolvidos alguns produtos para aplicação aérea e inflamação espontânea, o que torna o processo seguro. Contudo, a queima nem sempre é eficaz, uma vez que ao serem evaporados os componentes mais voláteis, o que normalmente ocorre nas primeiras 30 horas a seguir ao derrame, torna-se cada vez mais difícil a ignição da película de hidrocarbonetos.

Por outro lado, a reduzida espessura da película, devido à dispersão natural, faz com que seja praticamente impossível quer a ignição quer a manutenção da combustão do produto, pelo efeito de arrefecimento do mar.

Casos houve em que os produtos derramados arderam vigorosamente durante bastante tempo, como seja o caso do “Mildred Brovig” e do “Jacob Maersk” em Janeiro de 1975, no porto de Leixões, em que, devido a explosões na sequência do encalhe, arderam cerca de 40 000 toneladas de produto durante 36 horas.

A operação da queima põe ainda problemas práticos complexos, já não falando da poluição atmosférica que provoca, pelo que esta técnica só deve ser utilizada em circunstâncias excepcionais (API, 1986).

Na tabela 6.1 apresenta-se uma síntese dos vários métodos de tratamento e eliminação de resíduos de hidrocarbonetos.

Tabela 6.1- Opções de tratamento/eliminação para os vários tipos de resíduos de hidrocarbonetos
(API, 1986)

TIPOS DE RESÍDUOS	MÉTODOS DE TRATAMENTO	MÉTODO DE ELIMINAÇÃO
LÍQUIDOS	*****	*****
Hidrocarbonetos não emulsionados	Separação da água por gravidade	Utilização dos hidrocarbonetos recuperados como combustível ou para abastecimento de refinarias
Hidrocarbonetos emulsionados	Quebra da emulsão para libertação da água através de aquecimento, adição produtos químicos ou mistura com areia	Utilização dos hidrocarbonetos recuperados como combustível ou para abastecimento de refinarias. Queima. Retorno da areia separada à origem.
SÓLIDOS	*****	*****
Hidrocarbonetos misturados com areia	Recolha dos hidrocarbonetos líquidos escorrendo da areia, durante a armazenagem intermédia. Extracção dos hidrocarbonetos da areia, por lavagem com água ou solvente; de hidrocarbonetos sólidos por crivagem.	Utilização dos hidrocarbonetos recuperados como combustível ou para abastecimento de refinarias. Estabilização com material inorgânico. Degradação através de espalhamento no solo ou da formação de adubos. Queima.
Hidrocarbonetos misturados com calhaus rolados, seixos ou cascalho	Recolha dos hidrocarbonetos líquidos escorrendo pedras, durante a armazenagem intermédia. Extracção dos hidrocarbonetos dos resíduos, por lavagem com água ou solvente.	Deposição directa no solo. Queima
Hidrocarbonetos misturados com madeira, plásticos, algas e absorventes	Recolha dos hidrocarbonetos escorrendo dos resíduos, durante a armazenagem intermédia. Lavagem dos resíduos com água para remoção dos hidrocarbonetos	Deposição directa no solo. Queima. Degradação através de espalhamento no solo ou da formação de adubos para os hidrocarbonetos misturados com algas ou absorventes naturais.
Bolas de alcatrão	Separação por crivagem	Deposição directa no solo. Queima

7. DESTINO DOS HIDROCARBONETOS TOTAIS NA ETAR DA REFINARIA DO PORTO (PETROGAL)

7.1 Protecção Ambiental

A Refinaria do Porto dispõe dos mais modernos equipamentos, meios e técnicas destinados a reduzir ao mínimo os efeitos negativos da actividade fabril.

As instalações anti-poluição incidem naturalmente sobre as fontes de poluição mais prejudiciais para a saúde.

No que diz respeito à poluição das águas utilizadas na Refinaria foi instalado um sistema de tratamento das águas contaminadas que permite inclusivamente a sua reutilização para fins industriais. O excesso é enviado para o mar mas em condições tais que não prejudiquem, quer a fauna e a flora marinha, quer os eventuais utilizadores das praias.

Em relação à atmosfera, por exemplo, todos os gases efluentes são queimados em incineradoras próprias, as fornalhas e caldeiras estão ligadas a chaminés de 100 metros de altura e em períodos de condições meteorológicas adversas poder-se-á queimar combustível de baixo teor de enxofre.

Três fachos de segurança colocados a 80 metros de altura e mantidos acesos por chamas pilotos permitem a queima de todos os gases descarregados por ocasional desregulação ou por paragens de emergência, evitando assim a contaminação da atmosfera por gases em fase de combustão incompleta e, portanto, prejudiciais à saúde das populações.

7.2 Caracterização das Águas Residuais

Na refinaria do Porto, os efluentes são tratados na Unidade 7 000 - Unidade de Tratamento de Águas Residuais, que foi construída juntamente com a refinaria, sofreu ao longo do tempo algumas modificações, mas em 1988 foi objecto de uma profunda remodelação que teve como finalidade principal aumentar a capacidade de tratamento dos efluentes.

A instalação está dimensionada para tratar eficazmente um caudal de efluente de $450 \text{ m}^3 / \text{h}$, obedecendo a qualidade da água tratada a requisitos severos, o que permite a sua reutilização como água de serviço, na rede de água de incêndio e na rede de água de arrefecimento.

Nos períodos de pluviosidade elevada as águas excedentárias são temporariamente armazenadas em bacias de tempestade para serem oportunamente submetidas a tratamento.

Os efluentes sofrem sucessivamente os seguintes processos de tratamento:

- a) Tratamento físico em decantadores dos tipos API e PPI, para eliminação de hidrocarbonetos e matérias em suspensão;
- b) Tratamento físico-químico em tanques de neutralização, coagulação e flotação para correcção do pH e eliminação de sulfuretos, matérias em suspensão e hidrocarbonetos residuais;
- c) Tratamento biológico por lamas activadas em duas unidades distintas que funcionam em paralelo, para remoção de substâncias biodegradáveis;
- d) Tratamento de afinação com vista à reutilização de água na Refinaria, envolvendo clarificação, cloragem, arejamento mecânico e filtração.

Do processo de tratamento obtem-se, além de água clarificada, hidrocarbonetos líquidos que são recuperados e lamas que são queimadas num incinerador existente na instalação.

Os caudais a tratar são, em tempo seco, cerca de $300 \text{ m}^3 / \text{h}$ e, em tempo de chuva, cerca de $450 \text{ m}^3 / \text{h}$.

Na tabela 7.1 são apresentadas as características típicas das águas residuais, à entrada e saída da ETAR.

Tabela 7.1. Características do efluente líquido à entrada e saída de tratamento.

Parâmetros	Entrada		Saída	
PH	8-10		6.5-8.5	
S S T (mg/L)	70	(1)	<30	
TPH (mg/L)	100	(2) (3)	<5	(6)
CQO (mg/L)	500		<100	
CBO ₅ (mg/L)	200		<25	
Sulfuretos (mg/L)	30		<0.5	
Mercaptanos (mg/L)	5		<0.5	
Fenóis (mg/L)	8		<0.2	
Ferro (mg/L)	1	(4)	<1	(4)
Crómio Hexav. (mg/L)	0.5	(5)	<0.5	(5)
Cianetos (mg/L)	0.2		<0.5	
Cloretos (mg/L)	400		70	
Azoto Amoniacal (mg/L)	10		-	

(1)-Em tempo seco, com um máximo de 170 mg/L no Dreno 26

(2)-Em tempo seco, com um máximo de 3 000 mg/L no Dreno 26

(3)-A concentração em hidrocarbonetos é determinada usando o método de extração por hexano (AFNOR T90-202).

(4)-O valor de 1 mg/L refere-se ao elemento em solução como ião complexo e também em suspensão após duas horas de decantação.

(5)-O valor de 0.5 mg/L refere-se ao elemento em solução como ião livre ou como ião complexo e em suspensão.

(6)-O valor de 5 mg/L refere-se ao método de análise quantitativa de extração por hexano (AFNOR T90-202) mas a instalação de tratamento respeitará igualmente o limite de 20 µg/L correspondente à determinação por espectrometria de infravermelho (AFNOR T90-203).

Na tabela 7.2 apresentam-se as concentrações à saída da ETAR e valores limite de emissão (VLE), estabelecido no Decreto – Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto.

Tabela 7.2 –Concentrações à saída da ETAR e valores limite de emissão (VLE)

Parâmetro	À Saída	Legislação –VLE (1)
pH	6.5 - 8.5	6.0 – 9.0 (2)
S S T (mg/L)	<30.0	60.0
TPH (mg/L)	<5.0	10.0
CQO (mg/L)	<100.0	150.0
CBO ₅ (mg/L)	<25.0	40.0
Sulfuretos (mg/L)	<0.5	1.0
Mercaptanos (mg/L)	<0.5	---
Fenóis (mg/L)	<0.2	0.5
Ferro (mg/L)	<1.0	2.0
Crómio Hexav. (mg/L)	<0.5	0.1
Cianetos (mg/L)	<0.5	0.5
Cloretos (mg/L)	70.0	150.0
Azoto Amoniacal (mg/L)	-	10.0

(1) VLE – Valores limite de emissão como média aritmética das médias diárias referentes aos dias de laboração de um mês, que não deve ser excedido. O valor diário, determinado com base numa amostra representativa de água residual descarregada durante um período de vinte e quatro horas, não poderá exercer o dobro do valor médio mensal (a amostra num período de vinte e quatro horas deverá ser composta tendo em atenção o regime de descarga das águas residuais produzidas).

(2) O valor médio diário, no máximo, deve estar compreendido no intervalo 5.0-10.0.

Confrontando os valores à saída com os valores limite de emissão (VLE) fixados no Decreto-Lei n.º 236/98 (tabela 7.2), pode-se concluir que o efluente tratado na refinaria do Porto é enviado para o mar em condições que não contaminam, quer a fauna e a flora marinha, quer os eventuais utilizadores das praias. Mas é importante referir que o crómio hexavalente pode apresentar um valor à saída superior ao valor exigido pela legislação, uma vez que o limite de detecção de método de medida é superior ao VLE.

Parâmetros típicos de operação:

a) Pré - separadores (CB 7031 A/B)

- caudal máximo em tempo seco 450 m³ / h
- tempo de retenção 33 min.
- Velocidade de atravessamento 18 m/h

- b) Separadores (CB 7004 A 1/2/3 e CB 7004 1/2/4)
- caudal total para os dois separadores $453 \text{ m}^3 / h$
- c) Câmara de oxidação e coagulação (CB 7035/7036)
- caudal $453 \text{ m}^3 / h$
 - tempo de retenção 4 min.
- d) Flotador por ar dissolvido (CB 7037)
- carga hidráulica, incl. Recirculação 4.2 m/h máx.
 - razão de recirculação $40\% \text{ do afluyente máx.}$
 - tempo de retenção 62 min.
 - pressão de saturação 4.5 atm.
- e) Floculador – clarificador (CB 7071)
- caudal $453 \text{ m}^3 / h$
 - tempo de retenção 16 min.
- f) Tanque de arejamento (CB 7041)
- caudal $350 \text{ m}^3 / h$
 - CBO_5 total 1176 kg/d
 - remoção de CBO_5 82.2%
 - carga mássica $0.245 \text{ kg CBO/d.kg MLSS}$
 - MLSS 3 kg/m^3
 - MLVSS 2.1 kg/m^3
 - tempo de retenção 4.6 h
 - oxigénio requerido 62 kg/h
- g) Decantador secundário (CB 7042)
- caudal, incluindo recirculação $550 \text{ m}^3 / h$
 - carga hidráulica 0.88 m/h
 - tempo de retenção 2.5 h
 - carga sobre o descarregador $5 \text{ m}^3 / \text{h.m}$

h) Espessador de lamas (CB 7011)

- caudal	4.22 m ³ /h
- teor de água nas lamas à entrada	98.75%
- carga superficial	22.5 kg/d.m ²
- tempo de retenção	47 h

Apresenta-se adiante um diagrama simplificado do tratamento dos efluentes líquidos da Refinaria, com os códigos atribuídos às várias unidades de tratamento (figura 7.1).

Diagrama do processo de tratamento

7.3 Descrição do Sistema Geral de Tratamento.

Considerações Prévias

O esquema geral de tratamento, representado anteriormente, engloba as seguintes etapas sucessivas:

a) Fase líquida

- Pré-tratamento
 - remoção prévia de óleo e lamas nos pré-separadores;
 - elevação dos efluentes dos pré-separadores;
 - retenção de caudais excendatários nas bacias de tempestade e sua posterior elevação para o circuito de tratamento;
 - separação de óleos nos PPI's (Parallel-Plates-Interceptor).
- Tratamento físico-químico
 - neutralização e oxidação dos sulfuretos;
 - coagulação-floculação;
 - flotação.
- Tratamento biológico por lamas activadas de média carga
 - arejamento mecânico;
 - decantação.
- Tratamento com vista à reutilização dos efluentes
 - cloragem;
 - arejamento mecânico.

b) Fase sólida

- Lamas
 - espessamento
 - incineração.

c) Óleos

- Elevação para o circuito de slops.

7.3.1 Pré-tratamento

Remoção prévia de óleos e lamas

Atendendo aos altos teores de óleo normalmente presentes nos efluentes a tratar (industriais e águas pluviais poluídas), o pré-tratamento destes efluentes inclui dois pré-separadores (CB 7031 A/B).

A diferença de densidades óleo/água residual permite a separação destes fluidos, sendo os óleos recolhidos à superfície através de raspadores de gorduras (oil-skimmers), descarregados em seguida no poço de bombagem dos pré-separadores (CB 7032) e, finalmente, elevados para “slops”.

As lamas resultantes da deposição dos sólidos decantáveis no fundo dos pré-separadores são bombadas para o espessador de lamas (CB 7011).

Elevação dos efluentes dos pré-separadores

Os efluentes dos pré-separadores são bombados na estação elevatória (CB 7031 A/B) para os separadores de óleo (PPI's).

Retenção de caudais excedentários nas bacias de tempestade

Quando os caudais a bombear ultrapassam a capacidade máxima de elevação do parafuso de Arquimedes em serviço, isto é, $Q > 450 \text{ m}^3/h$, os volumes excedentários são temporariamente armazenados nas bacias de tempestade (CB 7002 A/B/C).

Nestas é removida parte dos óleos acumulados à superfície e procede-se a bombagem dos volumes retidos para o circuito de tratamento.

Separadores de óleo nos PPI's

O caudal total de efluentes dos pré-separadores é aduzido aos separadores de óleo (CB 7004 A 1/2/3 e CB.7004 B 1/2/4), na relação 1/2, atendendo a que as capacidades destes órgãos são dupla uma da outra.

A etapa de pré-tratamento completa-se assim nos PPI's, que promovem uma eficiente separação óleo/água residual e, também, a remoção de sólidos em suspensão. Cada um deles consiste numa câmara longitudinal preenchida por conjuntos de pratos paralelos, na qual se estabelece um regime laminar que, associado à diferença de densidades, permite uma boa separação.

Os óleos são recolhidos através de "oil-skimmers", escoando-se para os poços de bombagem (CB 7006 e CB 7080) e daí elevados para "slops".

As lamas produzidas nos PPI's são descarregadas para os poços de bombagem (CB 7004 A 1/2/3 e CB 7004 B 1/2/4), onde se processa a sua elevação para o espessador de lamas (CB 7011).

De referir que, nos períodos de chuva, a eficiência dos pré-separadores diminui, cabendo aos PPI's compensar esse decréscimo de rendimento de modo a serem atingidos os níveis de remoção fixados para a fase de pré-tratamento (pré-separadores e PPI's).

7.3.2 Tratamento Físico-Químico

Após pré-tratamento, os efluentes são submetidos ao tratamento físico-químico que tem por objectivo a correcção do pH e a eliminação dos elementos tóxicos ou inibidores do sequente tratamento biológico, tais como hidrocarbonetos e sulfuretos.

Neutralização e oxidação dos sulfuretos

A correcção do pH é efectuada injectando reagentes neutralizantes - ácido sulfúrico ou soda cáustica - cujas dosagens são reguladas mediante controlo automático deste parâmetro.

Paralelamente, procede-se à injeção de sulfato ferroso, sendo a dosagem proporcional ao caudal a tratar. Este reagente serve de catalisador na oxidação catalítica dos sulfuretos a tiosulfatos, sendo estes últimos não tóxicos face ao tratamento biológico. O ar necessário à operação é introduzido em contínuo no fundo da câmara de neutralização e oxidação dos sulfuretos (CB 7035/7036), dispondo-se para o efeito de compressores rotativos e de difusores de bolha fina.

A fim de homogeneizar a solução, a referida câmara está equipada com um electroagitador.

Coagulação-floculação

A coagulação com o sulfato férrico tem por objectivo a desestabilização das partículas coloidais, que consiste na neutralização das cargas eléctricas. A flotação é promovida pela adição de um polieletrólito catiónico (poliacrilamida aniónica - “Magnafloc3”).

A agitação mecânica lenta permite a agregação das partículas coaguladas, produzindo-se flocos volumosos e menos densos que a água, a separar posteriormente por flotação.

Flotação

A flotação por ar dissolvido destina-se à separação dos flocos das águas residuais. Assim, os efluentes provenientes da operação de coagulação-floculação são introduzidos na base do flotador (CB 7037) onde entram em contacto com bolhas finas de ar que se libertam na descompressão dos efluentes do sistema de pressurização.

Estas bolhas aderem às matérias em suspensão formando conjuntos com massa volúmica inferior à da fase líquida e com movimento ascensional, a ser removidos à superfície do flotador.

A produção das bolhas gasosas obtém-se através de um sistema de pressurização, como se descreve seguidamente:

- ⇒ Uma fracção do caudal do efluente do flotador (cerca de 30 a 40%) é recirculada para um reservatório, onde é saturada com ar comprimido (a pressão de 2.5 kg/cm^2) e enviada para fundo do flotador;
- ⇒ O ar necessário à saturação do efluente recirculado é fornecido por compressor alternativo ou, em caso de avaria deste, pela rede de ar comprimido da Refinaria;
- ⇒ A mistura ar/efluente recirculado entra no reservatório saturador de ar e, deste, escoar-se para o flotador onde se processa a sua descompressão, permitindo a formação de bolhas de ar cuja acção é essencial para a remoção da matéria flutuável.

7.3.3 Tratamento Biológico por Lamas Activadas de Média Carga

Depois da flotação as águas são sujeitas a um tratamento biológico por lamas activadas de média carga que compreende fundamentalmente de:

- fornecimento de oxigénio às águas residuais no tanque de arejamento (7041);
- formação neste tanque de um “licor misto” constituído por sólidos e biomassa, assegurando a oxidação biológica;
- decantação secundária para separação das lamas do efluente final;
- recirculação duma quantidade bem determinada de lamas para o tanque de arejamento, de forma a garantir a concentração desejada de SSV (sólidos suspensos voláteis);
- extracção das lamas em excesso.

Como se referiu, as reacções de degradação biológica têm lugar no tanque de arejamento, sendo o oxigénio necessário ao desenvolvimento das bactérias transferido pela acção dos arejadores de superfície. Estes equipamentos asseguram igualmente a agitação do “licor misto”, de modo a evitar o depósito de lamas e homogeneizar a mistura dos flocos bacterianos e águas residuais.

Bacias de Decantação e Reacção (CB 7008)

Parte da água flotada, é bombada para o primitivo sistema de tratamento biológico.

Esta água entra na chamada bacia de reacção onde se promove a bioconversão da matéria orgânica por bactérias aeróbias adaptadas que a transformam em produtos de metabolismo e biomassa (lamas).

Para enriquecimento do meio em material eminentemente biodegradável e assegurar a presença de microrganismos, o esgoto sanitário é bombado igualmente para o reactor. O equilíbrio em nutrientes (P e N) é conseguido à custa da injeção controlada de ureia e ácido fosfórico.

O efluente passa depois para a bacia de decantação, onde as lamas depositam, sendo depois recirculadas para a bacia de reacção para manter a concentração de biomassa a um nível adequado ou purgadas, quando se atinge um determinado volume.

Floculador-Clarificador (CB 7010)

A fim de adequar o efluente tratado a uma reutilização industrial, a água decantada na unidade CB 7008 é clarificada no floculador-clarificador que utiliza como agente floculante o sulfato férrico.

As lamas depositadas na zona de decantação deste órgão são permanentemente recirculadas para a zona de reacção, pois têm uma acção “catalítica” na floculação, sendo as excedentárias remetidas para o espessador.

Tanque de Arejamento (CB 7041)

Para o novo tratamento biológico seguem, por gravidade, as restantes águas flotadas, ou seja, as que não foram conduzidas para o sistema de tratamento biológico primitivo. Estas águas, depois de receberem nutrientes, vão entrar no tanque de arejamento onde a eliminação dos poluentes orgânicos é feita tal como no primitivo tratamento biológico.

O oxigénio necessário ao desenvolvimento das bactérias é transferido pela acção de arejadores de superfície, que também asseguram a agitação do conteúdo do tanque, de modo a evitar a deposição de lamas.

Decantador Secundário (CB7042)

Em seguida, as águas são admitidas no decantador secundário onde uma ponte raspadora, de fundo e de superfície, assegura a separação entre água clarificada e lamas (de superfície e de fundo).

As lamas ou são recirculadas para o início do novo tratamento biológico ou são purgadas para o espessador.

Bacias de Arejamento Mecânico (CB 7009 A/B)

As águas clarificadas, por qualquer dos processos descritos, são dirigidas para as bacias de arejamento mecânico ou para o emissário industrial, sofrendo as primeiras uma acção de cloragem.

Nas bacias, que funcionam como reserva de água tratada, a água sofre um arejamento prolongado, produzido por turbinas flutuantes, com vista a obter a oxidação dos produtos mais dificilmente oxidáveis.

A partir daqui, a água é bombada para a refinaria, para ser reutilizada como água de serviço, sendo a excedentária descarregada para o mar através do emissário industrial. Parte do efluente secundário é escoada para as bacias de arejamento mecânico (CB-7009 A/B); na tubagem de alimentação é injectada água clorada, tendo em vista a reutilização dos efluentes na Refinaria.

7.3.4 Tratamento das Lamas e Óleos

As lamas produzidas na instalação são elevadas para o espessador de lamas que promove a sua concentração e homogeneização, de modo a reduzir tanto quanto possível os caudais a eliminar.

Afluem ao espessador, por bombagem, lamas de diversa natureza, a saber:

- a) lamas primárias do pré-tratamento dos efluentes, provenientes dos pré-separadores e PPI's;
- b) lamas primárias do pré-tratamento físico-químico, provenientes do fundo do flotador;
- c) lamas biológicas em excesso provenientes do decantador secundário;
- d) escumas do tratamento biológico, recolhidas à superfície do decantador secundário.

Uma vez espessadas, as lamas são bombadas para o incinerador (ME 7001 01).

Relativamente aos óleos recuperados no processo de tratamento, há a considerar:

- a) óleos do pré-tratamento, provenientes dos pré-separadores, bacias de tempestade e PPI's;
- b) óleos do tratamento físico-químico, recolhidos à superfície do flotador.

O óleo recolhido nas diversas fases de tratamento é enviado, depois de condicionamento adequado, para a armazenagem de petróleo bruto ("slops").

As lamas produzidas são previamente espessadas num espessador gravítico (CB7011), a fim de aumentarem a concentração de sólidos para valores ajustados à operação de incineração. No incinerador, do tipo leito fluidizado, a parte orgânica é queimada. As cinzas produzidas são utilizadas como inertes na preparação de betão.

7.4 Trabalho Experimental

Para determinação do teor de hidrocarbonetos ao longo do processo de tratamento seleccionou-se um conjunto de locais de amostragem onde foram analisadas as águas residuais, não só em termos de hidrocarbonetos totais (TPH) mas também de outros parâmetros.

7.4.1 Locais de Amostragem

Foram fixadas os seguintes locais de amostragem:

1. Entrada e saída do Pré-Separador (CB 7031 A/B)
2. Entrada e saída do Separador (CB 7004 A 1/2/3)
3. Saída da Câmara de Oxidação de Sulfuretos e Coagulação (CB 7035/7036)
4. Saída do Flotador por ar dissolvido (CB 7037)
5. Entrada do Tanque de Arejamento (CB 7041)
6. Saída do Decantador Secundário (CB 7042)
7. Saída da Bacia de Arejamento Mecânico (CB 7009)

7.4.2 Técnica de Amostragem

Para a determinação do destino dos hidrocarbonetos e da eficiência no sistema de tratamento dos efluentes da Refinaria do Porto-Petrogal, fez-se a recolha de amostras (compostas na base do tempo, de uma em uma hora, no período de 24 horas) em diferentes órgãos de funcionamento, com as seguintes características:

- a) Serem representativas
- b) Possuírem volume suficiente para permitir a repetição dos ensaios, sempre que necessário
- c) Não serem alteradas relativamente aos constituintes que vão ser objecto de análise.

As amostras foram colhidas manualmente, para recipientes de vidro de um litro, cuidadosamente lavados no laboratório e passados duas a três vezes pela água a analisar, nos locais das amostragens.

Para evitar alterações das amostras entre o instante da colheita e a análise, procedeu-se à sua refrigeração a 4°C.

7.4.3 Métodos Analíticos

Na tabela 7.3 são apresentados os métodos analíticos e equipamentos utilizados nas várias determinações.

Tabela 7.3 – Métodos analíticos e equipamentos utilizados nas análises.

Parâmetro	Método	Aparelho	Marca
pH	APHA 4 500-H	Medidor de pH Modelo 632	METROHM
CQO	APHA 5 220-A	Dosimat Modelo 665	METROHM
Codutividade Eléctrica	APHA 2 510	Condutivímetro Modelo 612	METROHM
TPH	APHA 5 520-F	Espectrofotómetro IR Modelo 683	Perkin-Elmer
Fósforo Total	ASTM D 0515-66 T	Fotómetro Modelo 401	Milton Roy
Óleos e Gorduras	APHA 5 520-C	Espectrofotómetro IR Modelo 683	Perkin-Elmer

7.4.4 Resultados Experimentais

Nas tabelas 7.4 a 7.9 são apresentados os resultados das análises efectuadas nos diferentes locais de amostragem.

Tabela 7.4 – Valores de parâmetros físico-químicos no pré-separador

CB 7031 A/B - PRÉ-SEPARADOR		
Parâmetros	Entrada	Saída
pH	8.9	8.8
CQO (mg/L)	28160	26485
Condutividade Eléctrica ($\mu S / cm$)	948	941
TPH (mg/L)	6043	5621
Fósforo Total (mg/L)	0.32	0.29
Óleos e Gorduras (mg/L)	8955	2461

Tabela 7.5 –Valores de parâmetros físico-químicos no separador

CB 7004 A 1/2/3 - SEPARADOR

Parâmetros	Entrada	Saída
PH	8.8	8.6
CQO (mg/L)	26298	23975
Condutividade Eléctrica ($\mu S / cm$)	964	960
TPH (mg/L)	5532	4876
Fósforo Total (mg/L)	0.26	0.24
Óleos e Gorduras (mg/L)	2432	106

Tabela 7.6 –Valores de parâmetros físico-químicos na câmara de oxidação e coagulação

CB 7035/7036 - CÂMARA de OXIDAÇÃO e COAGULAÇÃO

Parâmetros	Saída
PH	7.3
CQO (mg/L)	10310
Condutividade Eléctrica ($\mu S / cm$)	900
TPH (mg/L)	1459
Fósforo Total (mg/L)	0.23
Óleos e Gorduras (mg/L)	34

Tabela 7.7–Valores de parâmetros físico-químicos no flotador por ar dissolvido

CB 7037 - FLOTADOR POR AR DISSOLVIDO

Parâmetros	Saída
PH	7.2
CQO (mg/L)	6794
Condutividade Eléctrica ($\mu S / cm$)	882
TPH (mg/L)	1033
Fósforo Total (mg/L)	0.2
Óleos e Gorduras (mg/L)	18

Tabela 7.8–Valores de parâmetros físico-químicos no tanque de arejamento e decantador secundário

CB 7041-TANQUE AREJ. e CB 7042 - DECANT. SECUND.

Parâmetros	Entrada-7041	Saída-7042
PH	7.2	7.1
CQO (mg/L)	6793	164
Condutividade Eléctrica ($\mu S / cm$)	1068	1070
TPH (mg/L)	1031	39
Fósforo Total (mg/L)	142	3
Óleos e Gorduras (mg/L)	18	10

Tabela 7.9–Valores de parâmetros físico-químicos na bacia de arejamento mecânico

CB 7009 A/B - BACIA de AREJAMENTO MECÂNICO

Parâmetros	Saída
PH	7.0
CQO (mg/L)	138
Condutividade Eléctrica ($\mu S / cm$)	1240
TPH (mg/L)	2.7
Fósforo Total (mg/L)	1.8
Óleos e Gorduras (mg/L)	7.8

7.4.5 Discussão dos Resultados

O pH da água residual à entrada do pré-separador é da ordem 8.9, diminuindo depois ao longo do processo de tratamento, obtendo-se no final um valor de $\text{pH} \approx 7$.

Determinação da eficiência do sistema de tratamento.

CQO

a) Pré - separador: Entrada - 28160 e Saída - 26485

$$\text{Remoção: } \frac{28160 - 26485}{28160} = 5.94 \times 10^{-2} \approx 6\%$$

b) Separador: Entrada - 26298 e Saída - 23975

$$\text{Remoção: } \frac{26298 - 23975}{26298} = 8.8 \times 10^{-2} \approx 9\%$$

c) Câmara de oxidação e coagulação: Entrada - 23975 e Saída - 10310

$$\text{Remoção: } \frac{23975 - 10310}{23975} = 0.57 \approx 57\%$$

d) Flotador por ar dissolvido: Entrada - 10310 e Saída - 6794

$$\text{Remoção: } \frac{10310 - 6794}{10310} = 0.34 \approx 34\%$$

e) Tanque de arejamento e decantador secundário: Entrada - 6793 e Saída - 164

$$\text{Remoção: } \frac{6793 - 164}{6793} = 0.975 \approx 98\%$$

f) Bacia de arejamento mecânico: Entrada - 164 e Saída - 138

$$\text{Remoção: } \frac{164 - 138}{164} = 0.16 \approx 16\%$$

g) Global: Entrada - 28160 e Saída - 138

$$\text{Remoção: } \frac{28160 - 138}{28160} = 0.99 \approx 99\%$$

Condutividade Eléctrica

a) Pré - separador: Entrada - 948 e Saída - 941

$$\text{Remoção: } \frac{948 - 941}{948} = 7.4 \times 10^{-3} \approx 0.74\%$$

b) Separador: Entrada - 964 e Saída - 960

$$\text{Remoção: } \frac{964 - 960}{964} = 4 \times 10^{-3} \approx 0.4\%$$

c) Câmara de oxidação e coagulação: Entrada - 960 e Saída - 900

$$\text{Remoção: } \frac{960 - 900}{960} = 0.063 \approx 6.3\%$$

d) Flotador por ar dissolvido: Entrada - 900 e Saída - 882

$$\text{Remoção: } \frac{900 - 882}{900} = 0.02 \approx 2\%$$

e) Tanque de arejamento e decantador secundário: Entrada - 1068 e Saída - 1070

$$\text{Remoção: } \frac{1068 - 1070}{1068} = -1.9 \times 10^{-3} \approx -0.2\%$$

f) Bacia de arejamento mecânico: Entrada - 1070 e Saída - 1240

$$\text{Remoção: } \frac{1070 - 1240}{1070} = -0.16 \approx -16\%$$

O aumento de condutividade nesta unidade de tratamento é devido à adição de cloro para oxidar matéria orgânica residual.

Em termos gerais pode dizer-se, como seria de esperar, que o sistema de tratamento não tem qualquer acção significativa sobre a condutividade das águas residuais.

TPH

a) Pré - separador: Entrada - 6043 e Saída - 5621

$$\text{Remoção: } \frac{6043 - 5621}{6043} = 6.9 \times 10^{-2} \approx 7\%$$

b) Separador: Entrada - 5532 e Saída - 4876

$$\text{Remoção: } \frac{5532 - 4876}{5532} = 0.118 \approx 12\%$$

c) Câmara de oxidação e coagulação: Entrada - 4876 e Saída - 1459

$$\text{Remoção: } \frac{4876 - 1459}{4876} = 0.70 \approx 70\%$$

d) Flotador por ar dissolvido: Entrada - 1459 e Saída - 1038

$$\text{Remoção: } \frac{1459 - 1033}{1459} = 0.29 \approx 29\%$$

e) Tanque de arejamento e decantador secundário: Entrada - 1031 e Saída - 39

$$\text{Remoção: } \frac{1031 - 39}{1031} = 0.96 \approx 96\%$$

f) Bacia de arejamento mecânico: Entrada - 39 e Saída - 2.7

$$\text{Remoção: } \frac{39 - 2.7}{39} = 0.93 \approx 93\%$$

g) Global: Entrada - 6043 e Saída - 2.7

$$\text{Remoção: } \frac{6043 - 2.7}{6043} = 0.99 \approx 99\%$$

Fósforo

a) Pré - separador: Entrada - 0.32 e Saída - 0.29

$$\text{Remoção: } \frac{0.32 - 0.2}{0.32} = 9 \times 10^{-2} \approx 9\%$$

b) Separador: Entrada - 0.26 e Saída - 0.24

$$\text{Remoção: } \frac{0.26 - 0.24}{0.26} = 7 \times 10^{-2} \approx 7\%$$

c) Câmara de oxidação e coagulação: Entrada - 0.24 e Saída - 0.23

$$\text{Remoção: } \frac{0.24 - 0.23}{0.24} = 4 \times 10^{-2} \approx 4\%$$

d) Flotador por ar dissolvido: Entrada - 0.23 e Saída - 0.2

$$\text{Remoção: } \frac{0.23 - 0.2}{0.23} = 0.13 \approx 13\%$$

e) Tanque de arejamento e decantador secundário: Entrada - 142 e Saída - 3

$$\text{Remoção: } \frac{142 - 3}{142} = 0.978 \approx 98\%$$

f) Bacia de arejamento mecânico: Entrada - 3 e Saída - 1.8

$$\text{Remoção: } \frac{3 - 1.8}{3} = 0.4 \approx 40\%$$

De salientar que à entrada do processo de lamas activadas se regista uma concentração de fósforo superior à da saída do flotador por ar dissolvido em resultado da adição de H_3PO_4 como nutriente.

Óleos e Gorduras

a) Pré - separador: Entrada – 8955 e Saída – 2461

$$\text{Remoção: } \frac{8955 - 2461}{8955} = 0.725 \approx 73\%$$

b) Separador: Entrada – 2432 e Saída – 106

$$\text{Remoção: } \frac{2432 - 106}{2432} = 0.956 \approx 96\%$$

c) Câmara de oxidação e coagulação: Entrada – 106 e Saída – 34

$$\text{Remoção: } \frac{106 - 34}{106} = 0.679 \approx 68\%$$

d) Flotador por ar dissolvido: Entrada – 34 e Saída – 18

$$\text{Remoção: } \frac{34 - 18}{34} = 0.47 \approx 47\%$$

e) Tanque de arejamento e decantador secundário: Entrada – 18 e Saída – 10

$$\text{Remoção: } \frac{18 - 10}{18} = 0.44 \approx 44\%$$

f) Bacia de arejamento mecânico: Entrada – 10 e Saída – 7.8

$$\text{Remoção: } \frac{10 - 7.8}{10} = 0.22 \approx 22\%$$

g) Global: Entrada - 6043 e Saída - 7.8

$$\text{Remoção: } \frac{8955 - 7.8}{8955} = 0.99 \approx 99\%$$

As águas a tratar são de elevado pH, altamente mineralizadas, turvas e com forte coloração. Apresentam um conteúdo em matéria orgânica elevado, avaliado indirectamente pela CQO. As concentrações de óleos e gorduras e hidrocarbonetos são também elevadas.

O tratamento de águas com estas características apresenta alguns problemas:

- Produzem-se fortes oscilações de pH sendo difícil controlar as reacções de ajuste de pH e as dosagens de coagulante para obter uma água tratada correctamente.
- Este tipo de água coagula e flocula melhor a elevado pH do que a baixo.
- O elevado conteúdo de matérias em suspensão justifica a utilização de decantadores, que apresentam em geral bom comportamento.
- Para evitar problemas de corrosão é necessário diminuir a sua alcalinidade, o que é feito com doseamento de ácido sulfúrico mediante controlador automático.
- Não é conveniente, porém, diminuir o pH da água até um valor muito baixo para não afectar o processo biológico aeróbico, inibindo o crescimento bacteriano (no processo de lamas activadas, por exemplo, são produzidos cerca de 0.9 kg de CO₂ por kg de CQO removida).
- Até há poucos anos a pré-oxidação era realizada com cloro ou hipoclorito de sódio. No entanto, para evitar a formação dos compostos organoclorados, como o clorofórmio, a técnica de pré-cloração foi abandonada nos tratamentos modernos.

A Carência Química de Oxigénio mede o oxigénio gasto na oxidação química de toda a matéria orgânica presente no efluente, com a excepção de alguns compostos (aromáticos) que não são totalmente oxidados. Podemos observar uma remoção significativa de 57% na câmara de oxidação e coagulação e de 98% no tanque de arejamento e decantador secundário (tratamento por lamas activadas).

Os valores da condutividade eléctrica sofrem um aumento à entrada no tanque de arejamento e decantador secundário que deve estar relacionado com a adição de ácido fosfórico e ureia.

A evolução do teor em hidrocarbonetos totais (TPH) está representada na figura 7.2, onde observamos a diminuição da concentração dos hidrocarbonetos em diferentes órgãos de tratamento.

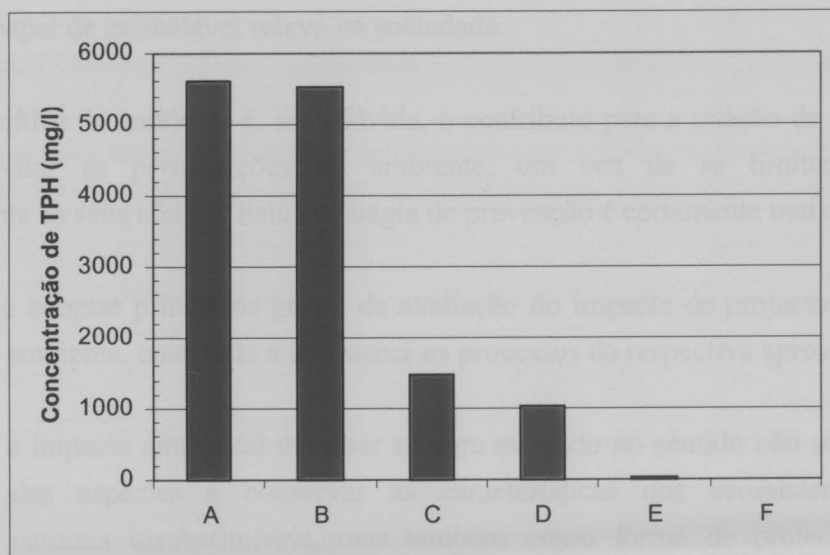


Figura 7.2-Evolução das concentrações dos hidrocarbonetos totais na ETAR da Refinaria do Porto

Legenda:

Em que A=pré-separador; B=separador; C=câmara de oxidação e coagulação; D=flotador por ar dissolvido; E=tanque de arejamento e decantador secundário e F=bacia de arejamento mecânico (tratamento por lamas activadas).

A percentagem da remoção é notável na câmara de oxidação e coagulação e no tanque de arejamento e decantador secundário.

A injeção de esgoto sanitário faz incrementar os teores de fósforo e azoto para proporcionar a biodegradação dos hidrocarbonetos. Como podemos verificar no tanque de arejamento e decantador secundário, a remoção é aproximadamente de 98%.

Os óleos e gorduras são removidos em grande medida no pré-separador e separador, 73% e 96%, respectivamente.

O efluente tratado cumpre os valores dos parâmetros exigidos pela legislação sendo de salientar a elevada remoção de CQO, óleos e gorduras e hidrocarbonetos.

Pode, assim, concluir-se que a ETAR da Refinaria do Porto da Petrogal funciona de modo eficiente e produz um efluente com qualidade para ser reutilizado como água de serviço.

8. CONCLUSÕES

A protecção ambiental, como forma de promoção da qualidade de vida dos cidadãos, assume um papel de assinalável relevo na sociedade.

A melhor política de ambiente é, sem dúvida, o contributo para a criação de condições que permitam evitar as perturbações do ambiente, em vez de se limitar a combater posteriormente os seus efeitos. Esta estratégia de prevenção é certamente mais económica.

Há, pois, que adoptar princípios gerais de avaliação do impacte de projectos, públicos ou privados, no ambiente, com vista a coordenar os processos da respectiva aprovação.

Com efeito, o impacte ambiental deve ser sempre avaliado no sentido não só de garantir a diversidade das espécies e conservar as características dos ecossistemas enquanto patrimónios naturais insubstituíveis, mas também como forma de protecção da saúde humana e de promoção da qualidade de vida das comunidades.

Constituindo a poluição operacional e acidental dos hidrocarbonetos pelos navios petroleiros, uma das preocupações das Autoridades responsáveis pelo combate à poluição no mar, devido a derrame de hidrocarbonetos, é importante a previsão do comportamento do produto derramado, de forma a prevenir e minimizar os efeitos sobre o meio marinho.

Na avaliação dos riscos de derrames devem ser considerados os pontos onde é possível a sua ocorrência, quer durante as operações de descarga quer fora desse período, bem como a respectiva probabilidade, fazendo-se ainda referência ao volume do produto derramado face às possibilidades de paragem do derrame.

O conhecimento a curto e médio prazos da evolução e comportamento das manchas, assim como de modelos de simulação representa um instrumento importante para actuação em tempo real, contribuindo para o aperfeiçoamento do dispositivo e actividade das autoridades nacionais responsáveis pela monitorização e combate à poluição.

A informação de base relativa a incidentes de poluição por hidrocarbonetos obtida no sistema de dados (IHS) da Refinaria da Petrogal, no Porto, constitui possivelmente uma das mais completas fontes no géneros existentes em Portugal. Da sua análise ressaltam os seguintes aspectos que devem ser considerados:

- Identificar os navios de cargas geral e tanque como a fonte de poluição marinha mais relevante, seguida dos terminais petrolíferos e das descargas industriais.
- O grupo de hidrocarbonetos no qual se incluem os combustíveis, lubrificantes e crudes leves é o que domina, tanto em número como em volume derramado.
- Em termos de localização é nos portos que se verifica o maior número de ocorrências.
- As zonas costeiras são mais atingidas com hidrocarbonetos devido as descargas feitas no mar.
- Os incidentes ocorridos em alto mar ocupam o segundo lugar, tanto em número como em volume derramado, sendo na sua maioria devidos a descargas não autorizadas de resíduos e águas oleosas durante as operações de lastragem e lavagem de tanques.
- Os incidentes devidos a colisões entre navios, afundamento e incêndios seguidos de explosões, que poderão conduzir à ruptura total ou parcial dos tanques de carga, apesar de serem em menor número, representam a maior ameaça em termos de volume derramado para o meio marinho.

Os hidrocarbonetos derramados no mar sofrem numerosas transformações consoante as suas propriedades físico-químicas, e dependendo das características do meio e das condições hidrodinâmicas e meteorológicas locais. Todos esses fenómenos poderão intervir simultaneamente, resultando daí a grande complexidade do estudo do problema.

Os modelos de simulação devem incluir uma componente de envelhecimento das características físico-químicas do produto derramado, o que os torna mais realistas. Foram testadas várias formulações matemáticas para descrever estes processos. Apesar dos resultados obtidos serem aproximados aos experimentais, é necessário realizar mais simulações, para uma gama mais alargada de quantidades derramadas e condições meteorológicas, a fim de ampliar o grau de confiança nos resultados obtidos.

Os modelos de previsão permitem realizar análises de sensibilidade em torno de parâmetros, tais como a velocidade do vento, a altura das vagas, a temperatura do mar, etc., de forma a identificar os factores que mais fortemente influenciam a evolução final da mancha; e, no geral, permitem uma apreciação das várias hipóteses de deriva para diferentes condições meteorológicas.

Para completar os processos de envelhecimento seria importante desenvolver algoritmos para os processos de sedimentação, foto-oxidação e biodegradação, que apesar de contribuírem em menor escala para os processos simulados tornam-se importantes a longo prazo, bem como as alterações de outras propriedades dos hidrocarbonetos tais como a tensão superficial e o ponto de corrimento.

Em termos práticos, é útil introduzir no modelo proposto uma base de dados dos equipamentos para o combate a derrames no mar, tais como recuperadores, barreiras e dispersantes. A escolha dos equipamentos mais eficazes para a acção a empreender depende das condições do vento e estado do mar, das propriedades do produto e da espessura e volume da mancha. Assim, para um determinado incidente, consoante os resultados do modelo de previsão para estas características, poderia também ser obtida uma lista dos equipamentos mais apropriados a utilizar nesta situação.

As principais técnicas utilizadas no combate aos hidrocarbonetos derramados no mar são: barreiras, recuperadores e dispersantes.

O uso de dispersantes poderá ser utilizado como meio de evitar a poluição, mais apenas como último recurso devido ao seu efeito tóxico sobre o ecossistema.

Existem outras técnicas tais como adsorventes, agentes aglomerantes, agentes precipitantes, agentes desemulsificantes, agentes gelificantes e nutrientes.

A informação compilada neste trabalho foi obtida a partir de fontes diversas, não sendo portanto homogéneas quanto às metodologias, técnicas e instrumentação utilizadas no combate à poluição por hidrocarbonetos. Assim, seria importante desenvolver um estudo aprofundado sobre o comportamento de hidrocarbonetos à superfície do mar, de forma a obter dados sobre a evolução dos vários processos de envelhecimento e de alteração das propriedades físicas dos produtos para diferentes condições ambientais, e assim permitir calibrar e validar com mais segurança as formulações propostas, bem como a biodegração na água do mar.

Situando-se as refinarias de petróleo nas proximidades do mar podem, potencialmente, constituir fontes de poluição das águas marinhas por hidrocarbonetos. Para eliminar este risco, são construídas estações de tratamento de águas residuais que, de um modo geral, incluem os esgotos domésticos e as águas pluviais produzidas nas respectivas áreas de implantação.

No estudo experimental realizado na Refinaria do Porto, concluímos que os hidrocarbonetos são biodegradáveis por meio de microrganismos apropriados.

A análise do destino dos hidrocarbonetos presentes nas águas residuais da Refinaria do Porto da Petrogal constituiu uma parte do presente trabalho. Verificam-se que na ETAR são removidos 99.96% dos hidrocarbonetos, sobretudo no tanque de oxidação e coagulação e no tratamento biológico por lamas activadas. Simultaneamente, observam-se uma remoção global de CQO de 99.5%. Uma parte do efluente tratado é utilizado como água de serviço na própria Refinaria, sendo o restante enviado para o mar através de um emissário, em condições que não afectam a fauna marinha e os utilizadores das praias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acordo de Cooperação para a Protecção das Costas e Águas do Atlântico Nordeste contra a Poluição (Acordo de Lisboa). Decreto n.º 37/91 de 18 de Maio, publicado no Diário da República, I Série A, N.º 114 de 18/5/91.

Adam, Y. (1987). *The MU-STORM Model*. Management Unit of the North Sea and Scheldt Estuary Mathematical Models, Brussels, Belgium.

American Petroleum Institute (1979) Publ 4317 Undergroud Movement of Gasoline on Groundwater and Enhanced Recovery by Surfactants. Washington D.C.

American Petroleum Institute (1982). Oil Spill Response: Options for Minimizing adverse ecological impact. Publication N° 4398. Washington, D.C.

American Petroleum Institute (1985). Oil Effects on Spawning Behavior and Reproduction in pacific Herring (*Clupea Harengus Pallasi*). API Publ. 4412.

American Petroleum Institute (1986). Role of Chemical Dispersants in Oil Spill Control Washington D.C. 4425

American Petroleum Institute (1993). Oil Spill Response in Freshwater Environments: Impacts on the Environment of Clean-up Practices. API Publ. N°. 4567. Washington, D.C.: API. 58 pp.

American Petroleum Institute (1994a). Transport Fate of Non-BTEX Petroleum Chemicals In Soils and Groundwater. Health and Environmental Scienses department, API Publication Number 4593. Washington, D.C. 20005.

American Petroleum Institute. (1994b). Inland Oil Spills: Options for Minimizing Enviromental Impacts of Freshwater Spill Response, pp 11.

Audunson, T. (1979). *Fate of oil spill on the Norwegian continental shelf*. Oil Spill Conference, Los Angeles, California.

Banco Mundial (1993). República Democrática de S. Tomé e Príncipe. Memorando Económico sobre o País e Principais Elementos de uma Estratégia Ambiental. Relatório N.º 10383-STP, 1993.

Berman, B. M. J., Brand, B., Charles, H., Jacqueline, M. and Debra, S. (1995). NAOO's *Scientific Response*. Hazardous Materials Response and Assessment Division Office of Ocean Resources Conservation and Assessment National Oceanic and Atmospheric Administration pp 63.

Birnie, Patricia W. and Alan E. Boyle. (1992). *International Law and the Environment*. Clarendon Press, Oxford, England.

Biscaya, J. L. e Neves, H. C (1996). Identificação e classificação de derrames de petróleo. *Anais do Instituto Hidrográfico*, **13**, 49-57.

Boaventura, R. (1987). *Contribuição para o estudo da poluição de origem industrial na área Urbana de Braga*, Jornadas Técnicas de Engenharia Química, Ordem dos Engenheiros, Lisboa, 1987.

Bobra, M. P., Kawamura, M. Fingas and D. Velicogna (1987). Laboratory and mesoscale testing of Elastol and Brand M demoussifier: *Proceedings of the 10 th Arctic and Marine Oil Spill Programme Technical Seminar*, June 9-11, 1987, Edmonton, Alberta, pp. 223-241.

Branco, S. M. (1994) *Efeitos Ecológicos da Implantação de um Porto Marítimo*, com especial referência à poluição por petróleo. pp. 64-70. Revista DAE.

Borrego, C. e Silva, J. F. (1994). *Estudo de Avaliação da Vulnerabilidade da Capacidade de Recepção das Águas Costeiras em Portugal*. Projecto n. 93/61/009 Realizado para a Direcção-Geral do Ambiente e Financiado pelo Fundo de Coesão da União Europeia.

Buchanan, I. (1987). *Methods for predicting the physical changes in oil spilt at sea*. Warren Spring Laboratory, Stevenage, Report N.º LR 609 (OP).

Buchanan, M. (1996). Project provides information useful for scoping evaluations of contaminated waste sites. *Due September 30, 1996*.

- Burns, K. A. and J. M. Teal. (1979). The West Falmouth Oil Spill: hydrocarbons in the salt marsh ecosystem. *Estuarine Coastal Marine Science* 8 (4): 349-360.
- Burwood, R. and Speers, G. C. (1973). "Some chemical and Physical aspects of the fate of crude oil in marine environment." In: *the proceedings of the International Meeting on Organic Geochemistry*, Paris, 1973.
- Canevari, G.P. (1969). The role of chemical dispersants in oil cleanup: in D.P. Hoult, (Ed), *Oil on the Sea*. New York: Plenum Press, pp 29-51
- Commission of the European Communities. (1993). *Community Action against Accidental Pollution at Sea*. Directorate General, Environment, Nuclear Safety, and Civil Protection, Brussels, Belgium.
- CONCAWE (1981). *A field guide to coastal oil spill control and clean-up techniques*. CONCAWE, The Hague, Netherlands, Report N.º 9/81.
- CONCAWE (1983). *Hydrocarbons Compendium. Characteristics of petroleum and its behaviour at sea*. CONCAWE, The Hague, Netherlands, Report N.º 8/83.
- CONCAWE (1987). *A Field guide to Coastal Oil Spill Control and clean-up Techniques*. CONCAWE The Hague, Netherlands, Report N.º 6/87.
- Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar. Decreto do Presidente da República n.º 67-A/97, publicado no Diário da República, I Série A, N.º 238 de 14 Outubro 1997.
- Cozzarelli, I. M., Eganhouse, R. P. and Baedecker M. J. (1989). *The Fate and Effects Of Crude Oil in a Shallow Aquifer: II. Evidence of Anaerobic Degradation of Monoaromatic Hydrocarbon*, edited by G. E. Mallard, and S. E. Ragone, U. S. Geological Survey Toxic Substances Hydrology Program-*Proceedings of the Technical Meeting*, Phoenix, AZ, Investigations Report 88-4220, September 26.
- Costa, M. M. O. (1999). Evolução de hidrocarbonetos derramados em zonas costeiras e estuarinas.
- Delvigne, G. A. L. (1988). Natural dispersion of oil. *Oil & Chemical Pollution* 4, 281-310.

Derwent, R. G. & Jenkin, M. E. (1991). Hydrocarbons and the long-range transport of ozone and PAN across Europe. *Atmospheric Environment* **25**^A, 1661-1678.

Dinis, J. L. & Cunha, P. (1998). Impactes antrópicos no sistema sedimentar do Estuário do Mondego. Sociedade e Território, revista de estudo urbano e regionais, edições afrontamento, Porto, 27, pp. 47-59.

D'Ozouville, A. J. e Jacques (1981). Effects of oil in the Marine Environment.

Duarte, F. (1998). Curso de Formação Especializada no Domínio do Combate à Poluição Marinha Acidental por Hidrocarbonetos. Leça da Palmeira.

El País, 5 de Março de 2000.

Elliott, A. J. & Hurford, N. (1989). The influence of wind and wave shear on the spreading of a plume at sea. *Oil Chemical pollution*, **5**, 347-363.

European model code of safe practice for dealing with oil spills at sea and on shore. London: *Applied Science Publishers*, 1974. p . 7.

Fay, J. A. (1971). *Physical processes in the spread of oil on water surface*. Proceedings of the joint Conference on the Prevention and Control of Oil Spills, 15-17, June, 1971, Publication by API, 463-467.

Fingas, M. F., Duval, W. S. and. Stevenson, G. B. (1979). The Basics of Oil spill Cleanup, With Particular Reference to southern Canada. Ottawa, Outario: *Environmental Emergencies Technology Division*, Environment Canada. 115 pp.

Garret, R. M., Pickering, I. J., Haith, C. E., Price, R. C. (1998). Photoxidation of crude oils. *Environmental Science & Technology*, **32**, 3719-3723.

Getter, C. D., T. G. Ballon, and J. A.. Dahlin. (1984). Final Report:bEffects of oils and dispersants on mangrove forests and seedling of rhizophora mangle and avicennia germinans. *Submitted to the Exxon Oil Spill Committee*, fate and effects, Environmental Subcommittee, p.166.

Gilfillan, E.S. Hanson, S.A., Vallas, D., Gerber, R., Page, D.S., Foster, J., and Pratt, S.D. (1983). Effects of dispersed and non-dispersed oil on intertidal infaunal community structure. Proc. 1983. *Oil Spill conf. American Petroleum Institute*, Washington, D.C. p. 457-463.

Gomes, F. M. V. e Vicente. (1996). Estudo de avaliação da vulnerabilidade da capacidade de recepção das águas e zonas costeiras em Portugal. Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos.

Goodman, Ron. (1995). Remote Sensing of Oil Spills: Works, What is useful and what is needed, who cares? Presented at the International Marine Organization's second International Spill Research and Development Forum, May 23-26, London, England.

Gundlach, E. R., Boehm, P. D., Marchand, M., Atlas, R. M., Ward, D. M. & Wolfe, D.A. (1983). The fate of Amoco Cadiz Oil. *Science* **221**, 122-129.

Harrison, W., M.A Winnik, P.T. Y. Kwong, and D.Mackay (1975). Crude oil spills. Disappearance of aromatic and aliphatic components from small sea-surface slicks. *Environ. Sci. Technol.* **9**: 231-234.

Homologation des Dispersants Pétroliers-Publicação de Ministère de L'Environnement et du Cadre de Vie-France (S/D).

Hoult, D. P. (1972). *Oil spreading on the sea. Annual. Review of Fluid Mechanics*, Van Dyke, M. ed., 341-368.

Huang, J. C. & Monastero, F. C. (1982). *Review of the State-of-the-Art of oil spill simulation models*. Final Report submitted to American Petroleum Institute.

IH (1990). Roteiro da Costa de Portugal, 2ª Edição, Ministério da Defesa Nacional, Marinha, Instituto Hidrográfico, Lisboa (Publicação IH-186-SN).

International Maritime Organization(1977). Intervention Convention Edition IMO Publication 402 E.

International Maritime Organization(1985). CLC Convention Edition IMO Publication 456 E.

International Maritime Organization (1988). *Manual on oil pollution, section IV combating oil spills*. IMO Publication n.º 56988.11.E, London.

International Maritime Organization (1989). *Salvage Convention*, Edition IMO Publication 450 E.

INM (1998). Instituto Nacional de Meteorologia de S. Tomé e Príncipe. Fotocópia.

IOSC, (1995).. The fate of Petroleum in Marine Ecosystems. *Petroleum Microbiology*. Oil Spill Conference.

IPIECA (1979) International Petroleum Industry Environmental Conservation Association, London. *Application and Environmental Effects of Oil Spill Chemicals*. Report of the UNEP Conference on Oil Spill Chemicals. Brest, France, November 26-28. 1979.

IPIECA (1994) Entitled *Dispersants and Their Roles in Oil Spill Response*, MEPC 35/INF. Marine Environment Protection Committee (MEPC). Report by the 21-13 January 94

ITOPF. (1980). *Measures to combat oil pollution. The improvement of oil spill response within the EEC*. Published by Graham & Trotman Ltd. for the Commission of EC, London.

ITOPF. (1981). *Technical recommendation for establishing a national contingency plan against pollution of the coastline of Portugal by oil*. London.

ITOPF. (1982). *Use of oil spill dispersants*. Technical Information Paper N^o 4, London.

ITOPF. (1983). *Response to Marine Oil Spills*. London: Witherby & Co. Ltd.

ITOPF. (1986). Fate of marine oil spills. Technical Information Paper N^o 11, London.

ITOPF (1987). *Response to marine oil spills*, London.

ITOPF (1992 and 1994). *The international Tanker Owners Pollution Review*, London.

Johansen, Ø. (1983). Dispersion of oil from drifting oil slicks. *Spill Technology Newsletter*, Nov. -Dec. 1983. 134-149.

- Ketchum, B. H. (1967). *Man's Resources in the Marine Environment*, in Pollution and Marine Ecology.
- Kirstein, B. E., Clayton, J. R., Clary, C., Payne, J. R., McNabb, D., Jr., Fauna, G. & Redding, R. (1985). *Integration of Suspended Particulate Matter and Oil Transportation Study*. Minerals Management Service, Anchorage, Alaska.
- Kolpack, R. L., Plutchak, N. B. & Stearns, R. W. (1977). *Fate of oil in a water environment-Phase II, a dynamic model of the mass balance for released oil*. University of Southern California, Prepared for American Petroleum Institute, API publication 4313, Washington, DC.
- Koops, W. (1991). *Community Information System, Chemical properties databases, Compendium of information concerning properties and behaviour of harmful substances*. EEC Contract B6612-89-15, Brussels.
- Koops, W. (1992). *Two new tools and a working methods for crisis management of accidental spills at sea*. Delft University Press, The Netherlands.
- Lasserre, J. (1974). *Étude du Comportement Dynamique des Barrières Flottantes-Stage INFORPOL* (1982).
- Lasserre, J. (1977). *Contribution des Barrages à la Lutte Contre la Pollution par les Hydrocarbures-Stage INFORPOL* (1982).
- Le Roux, M. (1981). *Floating Anti-Pollution Booms*, Direction des Ports et de la Navigation Maritimes-stage INFOPOL (1982).
- Mackay, D. & Leinine, P. J. (1977). *Mathematical model of the behaviour of oil spills on water with natural and chemical dispersion*. Prepared for Fisheries and Environment Canada. Economic and Technical Review Report EPS-3-EC-77-19.
- Mackay, D., Buist, I., Mascarenhas, R. & Paterson, S. (1980). *Oil Spill Processes and Models*. Environmental Impact Control Directorate, Environmental Protection Service, Ontario Canada, Report EE-8.

- Mackay, D. Stiver W. & Tebeau, P. A. (1983). Testing of Crude Oils and Petroleum Products for Environmental Purposes. In *Proceedings of the 1983 Oil Spill Conference*. American Petroleum Institute, Publication N° 4356, 331-7.
- McAuliffe, C.D. (1983). Organism exposure to volatile/ soluble hydrocarbons from crude oil spills-afield and laboratory comparison. *Proceedings of the 1983/1987 Oil Spill Conference*, April 6 – 9, Baltimore, Maryland, p. 275 – 288.
- McGoven, E. (1999). *Bioremediation of Unresolved Complex Mixtures in Marine Oil Spills*. Report of Marine Institute Fisheries Research Centre, Ireland, June 1999, 139p.
- Metcalf & Eddy (Eds). (1991). *Wasterwater Engineering – Treatment, disponsal, reuse*. McGraw – Hill Int. Ed.
- Meyers, P.A. & Oas, T. G. (1978). Comparison of associations of different hydrocarbons with clay particles in simulation seawater. *Environmental Science & Technology*, **12**, 934-7
- Miller, C. T., J. A. Pedit, A. M. Levert, and A. j. Rbideau (1991) *Investigation of Multicomponent Sorption and Desorption Rates in Saturrated Grundwater Systems*, Water Resources Division, North Carolina Water Resources Research Institute, Raleigh, NC.
- Mott, H.V. and W.J. Weber, Jr. (1991). Factors influencing organic contaminant diffusivities in soil – bentonite cutoff barriers. *Environ. Sci. Technol.* **25**: 1708 – 1715.
- National Research Council. (1989). *Using Oil Spill Dispersants on the Sea*. Washington, D.C.: National Academy Press. p335.
- National Research Council. (1992). *Marine Salvage in the United States*. Committee on the National Salvage Posture. National academy Press, Washington, DC.
- Nelson, S. (1998). Curso de Formação Especializada no Domínio do Combate à Poluição Marinha Acidental por Hidrocarbonetos. Leça da Palmeira.
- NOAA. (1992) National Oceanic Atmospheric Administration. Hazardous Materials Response and Assessment Division Seattle, Washington 98115.

NOAA. (1994) Technical Memorandum NOS ORCA 91 *Evaluation of Condition of Prince William Sound Shorelines Following the Exxon Valdez oil spill and Subsequent*. Volume II 1994 Geomorphological Monitoring Survey, July 1994. Seattle, Washington.

O' Sullivan, A. J. e Jacques, I. G.

NOAA. (1996). National Oceanic Atmospheric Administration. Evaluation of the condition of Prince William Sound Shorelines Following the Exxon Valdez Oil Spill and Subsequent Shoreline Treatment.

Office of Technology Assessment (1991). Bioremediation of Marine Oil Spill-Background Paper, OTA-BP-0-70. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.

Oil Spills—Their Fate and Impact on the Marine Environment—Publicação do OCINF/IPIECA (1980).

Parcel (1992). *Parcel: a 3D model for the transport, spreading and aging of floating chemicals at sea*. Management Unit of the North Sea and Scheldt Estuary Mathematical Models, Belgium.

Payne, J. R., B.E. Kirstein, G.D. McNabb, Jr., J. L. Lambach, C. de Oliveria, R. E. Jordan, and W. Hom. (1983). Multivariate analysis of petroleum hydrocarbon weathering in the subarctic marine environment. *Proceedings of the 1983 Oil Spill Conference*, February 28-March 3, 1983, San Antonio, Texas, p 423-434.

Pearlman, J. S., Ron Goodman, and Jerry Galt. (1992). Sensor technology overview – a look to the future. Presented at the First Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, New Orleans, Louisiana, June 15-17, 1992.

Perspectives on Establishing and Maintaining Oil Pollution Response Capabilities. *International Oil Spill Conference*, American Petroleum Institute, Technical IOSC. 1995-003.

Plano Mar Limpo. Resolução do Conselho de Ministro n.º 25/93 de 15 ABR, publicado no Diário da República, I Série-B N.º 88 de 15/4/93.

Project de Revision des Directives OMI/PNUE sur L'application de dispersants contre les déversements d'hydrocarbures et considerations liés á l'environnement. MEPC 35/14/1 – 10 Dez. 93 – Comité de la Protection du Milieu Marin. 35 èm Session.

Rasmussen, D., (1985). *Oil Spill modelling – A tool for cleanup operations*. Proc. 1985. Oil Spill Conference, American Petroleum Institute, 243-249.

Recommandations pour l'utilisation des Dipersants en Mer en Cas de Marées Noires -
Publicação do CEDRE.

Reed, M., & Gundlach, E. (1989). A Coastal Zone Oil Spill Model: Development and Sensitivity Studies. *Oil & Chemical Pollution*, 5, 441-449.

Relatório N.º 10383-STP. República Democrática de São Tomé e Príncipe Memorando Económico sobre o País e Principais Elementos de Uma Estratégia Ambiental. Vol II, Junho de 1993.

ROCC(1987). Guide de Lutte Contre les pollutions par Hydrocarbures en Méditerranée.

Ryan, P. B. and Brown, D. J. S. (1989). Support for Regional Oil Spill Response in the ROPME Sea Area. Proceedings, 1989 Oil Spill Conference. API Publication N.º 4479, American Petroleum Institute, Washington, DC. p215-219.

Silva, S. B. R. (1997). *Modelação Numérica de Derrames de Hidrocarbonetos no Mar: Aproximação Lagrangeana do Transporte*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.

Smith, L. H. and D. V. Venne. (1986/1987). Surveillance of oil slicks at sea with us Coast Guard airborne remote sensing equipment. *Oil Chemical Pollution* (3/3): 191-201.

Spaulding, M. L. (1988). A State-of-the-art review of spill trajectory and fate modeling. *Oil & Chemical Pollution*, 4(1), 39-55.

Spaulding, M. L., Salla, S. B., Reed, M., Lorda, E., Walker, H., Isaji, T., Swanson, J. & Anderson, E. (1982). *Assessing the impact of oil spills on a commercial fishery*. Final Report to Minerals Management Service. Contract Nº AA851-CTO-75.NTIS.

Stiver, W. & Mackay, D. (1984). Evaporation rate of Spill of Hydrocarbons and Petroleum Mixture. *Environmental Science & Technology*, **18**, 834-840.

Strain, P. M. The persistence and mobility of a light crude oil in a sandy beach. *Mar. Environ. Res.* **19**: 49-76.

Sutton, C. and Calder, J. A. (1974). Solubility of higher-molecular-weight in paraffins is distilled water and seawater. *Environ. Science Tech.* (8): 320 – 322.

Swannel, R. P. J., Tookey, D. & McDonagh, M. (1992). *Bioremediation of Oil Spills: A State of the Art Review*. Published by Warren Spring Laboratory, 170 p.

Tetra Tech, Inc. (1985). Commencement bay nearshore/tideflats remedial investigation. Volume 3. Appendices I-V.TC-3752. Bellevue, WA: Tetra Tech.

Vandermeulen, J. H., Harper, J. and Humphrey, B. (1988). Environmental factors influencing oil penetration and persistence in fine sediment tidal flats. *Oil Chem. Pollut.* **4**: 155-177.

Wang, H. & Huang, C. (1979). *The effect of turbulence on oil emulsification*. Proceeding of Workshop on the Physical Behaviour of oil in the marine environment. Princeton University. 8-9 May.

Wang, H., Campbell, J. R. & Ditmars, J. D. (1975). *Computer modelling of oil drift and spreading in Delaware Bay*. Ocean Eng., University of Delaware.

Warren Spring Laboratory (1982). *Oil Spill Cleanup of the Coastline*. A Technical Manual Published by Warren Spring Laboratory, 150 pp.

Williams, G. N., Hann, R. & James, W. P. (1975). *Predicting the fate of oil in the marine environment*. Proceedings of Conference on Prevention and Control of oil pollution. American Petroleum Institute, Washington, D.C.

ANEXO

PROPOSTA/PROGRAMA DE PREVENÇÃO E COMBATE À POLUIÇÃO POR HIDROCARBONETOS PARA S. TOMÉ E PRÍNCIPE

O objectivo deste capítulo é o de reunir Normas e Procedimentos de Prevenção, Controlo de Acidentes e de Actuação em vigor, para implementação em S. Tomé e Príncipe, no que se refere à prevenção e combate à poluição por hidrocarbonetos.

Nunca, em qualquer circunstância, as medidas e instruções de segurança deverão reduzir as regras de segurança geral do navio, sua tripulação e instalações petrolíferas, de acordo com o estabelecido nas regras e leis nacionais e internacionais.

As empresas petrolíferas, os comandantes de navios e os responsáveis do porto, deverão assumir as medidas necessárias em caso de emergência, uma vez que é suposto terem o perfeito conhecimento do seu equipamento de segurança e do navio.

O comandante do navio deve colaborar activamente com as Autoridades e com o comandante da capitania na resolução dos problemas. Todavia, e de acordo o direito marítimo internacional aplicável, o comandante do navio será sempre o responsável pelas acções e decisões que tomar em caso de emergência.

A informação compilada neste trabalho é fornecida de boa fé. Não assumimos quaisquer responsabilidades pelo seu rigor ou pelo uso que possa ser feito desta informação. O objectivo é somente ajudar os produtores de petróleo, comandante, armadores e fretadores dos navios operando no espaço marítimo de S.T.P..

Esta proposta não se substitui de modo algum a quaisquer outras regras ou regulamentos emitidos pelas Autoridades competentes.

Deve entender-se esta proposta como complemento de regulamentos e regras impostas pelas Autoridades. Os exploradores de petróleo e os comandantes são convidados a prestar todas as informações necessárias ao Comandante da capitania e Autoridades do Porto de S. Tomé no sentido de tornar possível a perfeita interligação do trinómio Produção-Navio-Terminal de acordo com ISGOTT.

Caracterização Ambiental de S.Tomé e Príncipe

Antecedentes

São Tomé e Príncipe consiste em duas ilhas com uma área terrestre total de 964 km², situadas no Golfo da Guiné. As duas ilhas estão separadas das outras ilhas no golfo e da costa ocidental da África por mares com uma profundidade até 1 800 m. As ilhas nunca foram ligadas uma à outra nem ao continente. Fazem parte de uma linha vulcânica que inclui Pagalu no sudoeste, Bioko no nordeste, e que se estende até ao continente através do Monte Camarões e do planalto dos Camarões até ao Lago Chade. A pluviosidade nas ilhas varia entre 900 milímetros por ano nas zonas de baixa altitude, e 7000 milímetros por ano nas zonas de maior elevação. Ambas são montanhosas com vários picos que se elevam a mais de 1 500 metros. O terreno, sendo de forte inclinação e rude, faz com que uma grande parte das ilhas seja inacessível, preservando assim em grande medida a diversidade biológica singular das ilhas. Descobriu-se que as florestas de STP abrigam um dos mais altos níveis de espécies endémicas do mundo. O Conselho Internacional para a Preservação das Aves (ICBP) classificou as florestas no sudoeste de S. Tomé como sendo as segundas mais importantes em África.

O Ambiente

Os problemas ambientais em STP ainda não são graves nem generalizados. O país tem resistido a exportar madeira das suas florestas tropicais, e a agricultura também não levou a uma grave erosão dos solos. Visto o país carecer de indústrias, nas grandes zonas urbanas a qualidade do ar é geralmente muito boa. A origem vulcânica recente das ilhas impediu o desenvolvimento de recursos minerais, com os efeitos ambientais a isso associados. No entanto, as aspirações de desenvolvimento económico do país dependerão das actividades que forem empreendidas e das políticas levadas a cabo, que podem contudo, exercer uma pressão adicional sobre o ambiente. Os programas que visam melhorar a auto-suficiência alimentar promovem o cultivo de legumes. Algumas destas actividades são realizadas em encostas íngremes, o que constitui uma ameaça à estabilidade das encostas e leva à conversão das florestas secundárias, à erosão dos solos e à perda de diversidade de espécies. STP tem actualmente uma população de 117 000 habitantes e uma densidade demográfica média de 118 pessoas por quilómetro quadrado. As pressões sobre os recursos naturais serão exacerbadas por uma população que cresce actualmente a uma taxa anual de cerca de 2.7%. O aumento populacional é uma causa indirecta de quase todos os problemas ambientais do país e, se não for controlado, continuará a ameaçar os recursos existentes em escala cada vez maior.

A qualidade deficiente da água, a degradação das florestas, a incidência generalizada do paludismo, as ameaças às florestas primárias e à biodiversidade, a erosão das áreas em forte declive causadas pelo cultivo de legumes, a perda de recursos piscatórios, o manuseamento impróprio de substâncias tóxicas e a erosão costeira devida à extracção de areia, são todos problemas que preocupam as autoridades governamentais, assim como a comunidade não governamental em STP. A dimensão relativa à saúde humana da degradação ambiental é reconhecida universalmente e a erradicação do paludismo e a disponibilidade de água própria para consumo são geralmente consideradas como de importância crucial (Relatório do Banco Mundial, 1993).

Ventos

Os ventos predominantes são dos quadrantes de N e NW, nos meses de Abril e Maio. Esta predominância não se repete em termos de velocidade médias, onde os quadrantes dominantes são de SE e S, no mês de Junho.

Ondulação

A ondulação é predominantemente dos quadrantes de Oeste.

Correntes

As correntes são predominantes com deriva para Sul, não ultrapassando 0.6 nós.

Quando se verificam situações de vento forte de sul, a corrente de superfície imediatamente o acompanha passando a deriva para Norte, nunca atingindo, contudo, valores superiores a 0.8 nós.

Na tabela A.1 apresentam-se dados da velocidade média do vento no Aeroporto de S. Tomé, no período de 1985/1995.

Tabela A.1 Velocidade média do vento no Aeroporto/S. Tomé (INM, 1998)

Mês	Vento médio mensal (1985-1995)																
	Número de observação (f): Velocidade média (V) em m/s																
	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		C
	f	v	f	v	f	v	f	v	f	V	f	v	f	v	f	v	f
Jan	9	2.4	3	1.7	10	2.5	9	3.1	17	2.5	10	1.7	12	2.0	3	1.3	20
Fev	8	2.6	2	2.3	8	2.8	10	3.0	19	2.6	8	2.0	12	2.0	4	2.3	15
Mar	9	2.9	3	2.6	10	4.2	10	3.3	24	3.2	10	2.0	12	2.2	4	3.4	12
Abr	8	2.8	4	2.7	9	3.0	8	2.6	26	3.2	9	2.0	13	2.0	3	1.8	11
Mai	6	2.6	2	1.2	6	3.2	10	3.9	44	3.6	8	1.8	6	2.3	2	2.1	10
Jun	6	2.6	2	1.9	6	2.8	7	3.2	54	4.0	4	2.3	2	1.5	2	2.4	7
Jul	5	3.0	2	2.5	6	2.5	10	3.7	52	3.9	4	2.3	2	1.3	1	2.4	6
Ao	9	3.3	3	2.1	9	3.0	10	3.2	48	3.8	3	2.0	3	1.8	1	2.5	7
Set	11	2.8	7	2.9	13	3.0	10	3.3	28	6.3	3	2.0	5	1.9	1	2.2	12
Out	12	3.0	4	2.3	11	2.6	11	3.6	30	3.0	5	1.6	6	1.6	2	2.5	12
Nv	11	2.1	4	2.2	8	2.1	10	2.9	27	2.5	6	1.7	7	1.7	3	2.5	24
Dez	7	2.5	2	1.5	10	2.4	10	3.3	21	3.0	9	1.6	12	1.9	2	2.2	19
Ano	9	2.7	3	2.1	9	2.8	9.5	3.3	3	3.5	7	1.9	8	1.9	2	2.3	13

lat: 0° 23'N

g: 9.780 m/s²

long: 6° 43'E

Hs: 8m

A tabela A.2 resume dados de temperatura do ar, humidade relativa, insolação, precipitação e evaporação em Água – Izé, no período de 1961/1990.

Tabela A.2 Estação de Água - Izé/S. Tomé (1961/1990) (INM, 1998)

Mês	Temperat. do Ar (°C)				Humidade Relativa (%)				Insolação		Prec.	Evap
	Dia	Máx	Min	Var	9H	15H	21H	Média	Hora	(%)	(mm)	(mm)
Jan	26.1	29.5	22.7	6.9	83	81	90	85	4.6	38	126.9	53.5
Fev	26.5	30.1	22.8	7.3	81	79	89	83	5.8	48	71.3	58.3
Mar	26.6	30.2	23.0	7.2	81	79	90	83	4.7	39	168.6	60.7
Abr	26.5	30.0	22.9	7.1	82	79	90	83	5.1	43	208.7	58.3
Mai	26.1	29.0	23.2	5.8	83	82	88	84	4.1	34	200.2	61.9
Jun	24.6	26.8	22.4	4.4	82	81	86	83	4.3	36	33.2	71.9
Jul	23.5	25.7	21.2	4.5	82	80	87	83	3.4	28	21.7	25.0
Ago	23.4	25.9	21.4	4.5	83	83	88	84	2.7	22	57.5	67.7
Set	24.4	26.8	22.0	4.8	82	83	89	85	3.1	25	87.3	59.2
Out	25.0	27.5	22.4	5.2	85	85	90	87	3.2	27	197.3	56.3
Nov	25.4	28.3	22.5	5.8	84	83	90	86	4.4	37	194.3	53.2
Dez	25.7	28.8	22.5	6.3	84	83	90	86	4.7	39	152.9	72.4
Média	25.3	28.2	22.4	5.8	83	81	89	84	4.2	35		
Total	303.7	338.8	269.1	69.7	991	977	1069	1012	50.1	418	1549.9	698.4

Segurança e Ambiente

O comandante do navio actuará sempre de acordo com a MARPOL 73/78 e todos os seus anexos. De acordo com o MARPOL - anexo 1, é da responsabilidade do comandante assegurar que qualquer escoamento de hidrocarbonetos ou mistura de água com hidrocarbonetos, bombeado ou derramado, se mantenha a bordo. Deve ser exercida a vigilância máxima para prevenir qualquer perda ou derrame mas não limitado a carga, lastro ou esgoto. Na eventualidade de tal acontecer, como resultado de acto ou omissão do navio, sua tripulação ou servidores, o navio será sempre responsável por todos os custos e despesas da limpeza, e por todos os danos em propriedades ou lesões em pessoas, resultado dessa perda ou derrame. Todos os embornais deverão estar tapados antes do começo da descarga. Consequência sérias podem resultar de uma poluição e a Companhia Logística de Terminais Marítimos (CLT) reserva o direito de tomar todas as medidas razoáveis que julgar necessárias para a limpeza de qualquer poluição ou contaminação, no mar ou em terra, e responsabilizará o Navio por qualquer custo e/ou despesa que envolva a limpeza da área contaminada. Na eventualidade de a CLT, ter de indemnizar terceiros como resultado de danos em propriedades e/ou lesões em pessoas, causadas por poluição atribuída ao Navio sua Tripulação ou Servidores, terá o direito de ser ressarcida pelo Armador ou Operadores do Navio em todos os custos/despesas incorridas.

Combate a Derrames

Devem existir meios humanos e materiais adstritos ao Terminal de S.Tomé e Príncipe (TSTP), contemplados em Plano de Emergência próprio, devidamente aprovado, sobre a supervisão da Autoridade Marítima Santomense.

Capacidade de respostas do TSTP face a uma emergência

O TSTP deverá manter inventariado o equipamento de combate à poluição, que se encontrará disponível para a intervenção inicial em qualquer incidente, até ao limite da sua capacidade como definido no Plano de Emergência.

Na eventualidade de um incidente de proporções superiores àqueles que os meios próprios disponíveis permitam dar resposta efectiva, no controlo e recolha de um derrame de hidrocarbonetos, a CLT contactará com a Capitania do Porto de S.Tomé conforme contemplado no Plano de Emergência do TSTP e Plano Mar Limpo a Nível Nacional.

Emergência

Na eventualidade de qualquer emergência, quer a bordo do navio, no TSTP ou no local de prospecção, todas as transferências deverão ser interrompidas e as válvulas colocadas na posição de fechadas, com início no Manifold.

A emergência inclui mas não está limitada a:

- Fogo ou explosão no Terminal e/ou num Navio nas vizinhanças do mesmo, bem como na Refinaria.
- Perca de propulsão ou governo de um navio aproximando-se do TSTP.
- Falha no sistema de amarração do Navio ao TSTP.
- Qualquer fuga proveniente do TSTP.
- Qualquer ruptura de encanamentos no Terminal e/ou Refinaria.
- Tempestade eléctrica na Zona do Terminal.
- Falha no Sistema de Comunicações.
- Falha não controlável no sistema de Telemetria.

Na eventualidade de falha no sistema de comunicações, e após esgotados todos os recursos disponíveis, o Navio fará soar cinco Apitos Longos. A operação de transferência será interrompida, só recomeçando quando as comunicações forem devidamente restabelecidas.

Combate a Incêndios a Bordo do Navio

Na eventualidade de ocorrer um incêndio a bordo de um navio amarrado ao TSTP, serão tomadas as seguintes acções:

- Dar o alarme.
- Informar o Loading Master e a Capitania do Porto de S.Tomé.
- Interromper a transferência e isolar a manobra a bordo do navio.
- Combater e circunscrever o fogo.
- Preparar para desligar mangueiras.
- Assegurar que o navio tem a máquina de atenção.
- Preparar para largada de emergência.

Resposta do TSTP para Combate a Incêndios a Bordo do Navio

Na eventualidade de ocorrer um incêndio a bordo do navio amarrado ao TSTP, serão tomadas as seguintes acções pelo responsável pelo TSTP:

- Informar a Capitania de S.Tomé e a Refinaria.
- Interromper a transferência e fechar todas as válvulas do TSTP.
- Preparação para orientação no desligar das mangueiras.
- Preparação para ajudar no combate ao incêndio no caso de tal ser pedido pelo Comandante do navio.
- Implementar o plano de emergência do TSTP.

Incêndio em terra

Na necessidade de ocorrer um incêndio em terra, serão tomadas pelo navio amarrado ao TSTP as seguintes acções:

- Interromper a transferência e fechar todas as válvulas.
- Ficar de prontidão para desligar as mangueiras.
- Preparação para largar do TSTP.

Resposta do TSTP para incêndio em terra

Na eventualidade de ocorrer um incêndio em terra, serão tomadas pelo responsável do TSTP as seguintes acções:

- Interromper a transferência e fechar todas as válvulas do TSTP
- Informar Capitania do Porto de S. Tomé
- Implementar o plano de emergência do terminal

Regulamentos de Segurança

1. Regulamentos para fumar

É proibido fumar no convés dos Navios enquanto estes permaneceram no TSTP e respectiva área de manobra. Também não será permitido fumar no interior do Casario e Casa da Máquina, excepto em áreas designadas para este fim, conjuntamente aprovadas por escrito, pelo comandante do TSTP.

2. Luzes desprotegidas

As luzes eléctricas portáteis não são permitidas no convés dos Navios enquanto eles permanecerem no TSTP. Dependendo da sua localização, somente luzes à prova de gases inflamáveis ou explosões poderão ser utilizadas em áreas perigosas.

3. Cabos eléctricos

Não são permitidos no convés equipamentos eléctricos portáteis. Todos os cabos usados neste equipamentos terão que ser desligados e retirados do local.

4. Radio/Radar

Depois do navio estar atracado ao TSTP, todas as antenas dos radares e equipamento de transmissão de fonia terão que ser desligados. Antes de Navio largar do TSTP as antenas poderão ser ligadas com a prévia aprovação do Comandante do TSTP.

5. Protecção catódica

No caso do navio estar equipado com um sistema de protecção catódica de corrente imposta, este terá que ser desligado enquanto o Navio permanecer ao TSTP.

6. Lanternas portáteis

Só serão permitidos equipamentos aprovados e certificados para uso em áreas perigosas.

7. Rádios portáteis

Só serão permitidos para uso no convés rádios de segurança intrínseca.

8. Portas do casario

Todas as portas, vias de acesso e aberturas do casario terão que permanecer fechadas e trancadas durante as operações de descarga/lavagem de tanques com crude e de lastro.

9. Ventilação do casario

Os sistemas de ventilação e de ar condicionado terão que ser operados por forma a prevenir a entrada de gases inflamáveis ou vapores em espaços interiores.

10. Cabos de amarração

Os cabos de amarração terão que ser continuamente observados pelo pessoal do Navio para assegurar que este está na posição correcta relativamente ao TSTP.

11. Ligações de cargas não utilizadas

As ligações de cargas e de bancas não utilizadas devem permanecer cegadas, com todos os pernos posicionados e devidamente apertados.

12. Linha de descarga à popa

Os navios equipados com linha de descarga à popa terão que assegurar que esta fique cegada, à parte de vante do casario.

13. Tomadas de fundo e descarga para a borda

As tomadas de fundo de descarga para a borda ligada às bombas de carga, bem como os sistema de esgoto do navio, devem estar convenientemente fechadas e amarradas. Quando existirem juntas cegas em linha estas deverão ser utilizadas. No caso de não haver meio de amarrar as válvulas na posição de fechadas, caso de válvulas hidráulicas, estas deverão mostrar claramente que se encontram e se mantêm fechadas. A utilização das tomadas de fundo só é permitida com a autorização expressa do Comandante do TSTP.

14. Embornais

Os embornais serão devidamente isolados e não serão movidos até o Navio estar fora da área de manobra do TSTP. Se forem retirados temporariamente alguns tacos para permitir drenar a água da chuva acumulada, terá que ser prevenida a queda de crude para água, a qual não é permitida. Os navios deverão ter sempre a(s) sua(s) bombas pneumáticas portáteis de esgoto, prontas a trabalhar.

15. Comunicações

As comunicações serão asseguradas entre o Navio e o Comandante do TSTP, via radio com canal privado no caso de a proximidade física não ser possível. Serão também estabelecidas permanentemente as comunicações com a Fábrica e ou (Refinaria) via radio em canal privado. Será sempre fornecida ao Comandante do TSTP uma listagem com os números dos telefones do Navio.

16. Escotilhas dos tanques de carga

Todos as escotilhas dos tanques, escotilhas de sondagem e tubos de sonda terão que ser fechados, antes de o Navio entrar na área de manobra do TSTP.

17. Tapas-chamas

As escotilhas de sondagem terão que estar sempre protegidas, quer abertas ou fechadas com uma rede de arame aprovada quer pelo seu tamanho, quer pelo seu tipo.

18. Combate a incêndio

Todo o equipamento de combate a incêndios do Navio, incluindo e os encanamentos devem ser mantidos sempre em carga. Pelo menos duas mangueiras com agulheta Jacto/Nevoeiro têm de estar ligados ao sistema, desenroladas e colocadas a vante e a ré da área dos manifolds de bombordo. Monitores fixos devem ser apontados para o manifold e estarem prontos para uso imediato. Extintores portáteis de pó químico devem estar colocados na vizinhança dos manifolds de bombordo.

19. Reboque de emergência

De acordo com a resolução IMO A535 os Navios deverão ter equipamentos para reboque de emergência à proa e à popa, consistindo numa estrutura de suporte, um ponto forte de fixação e uma amarra de reboque. Estes equipamentos deverão estar prontos para serem usados, enquanto o Navio permanecer no TSTP. Também devem ser colocados cabos de aço de segurança à borda, com alça sempre mantida na vizinhança da linha de água, posicionados na amura e alheta de estibordo. Estes cabos são devidamente passados aos cabeços.

20. Máquina principal

A máquina do Navio tem de estar pronta a ser utilizada a qualquer momento e o telégrafo deverá estar colocado em “Atenção” enquanto o Navio permanecer no TSTP. Se por algum motivo este ficar impedido de a utilizar, as operações de carga serão interrompidas e o mesmo será rebocado para um fundeadouro seguro.

21. Lastro

Podem ser permitidas operações de lastro durante a descarga, mas só com a autorização expressa do Comandante do TSTP. No caso de lastro em tanques sujos deverá antes ser assinado um Certificado de Descarga Completa, correspondente aos tanques em questão. Os sistemas de lastro não agregados que tenham que utilizar as bombas de carga e tomadas de fundo, não podem ser utilizados a não ser que os encanamentos tenham sido bem drenados e as bombas arranquem com as tomadas de fundo fechadas por forma a criar vácuo no separador das mesmas.

22. Gás Inerte

O Regulamento de 1981 da CEE “Merchant Ship (Tankers)” obriga os Comandantes dos Navios a reportarem ao Capitão do Porto a condição do equipamento de gás inerte. Antes de começar a descarga, a listagem de segurança de gás do TSTP deverá ser preenchida, conjuntamente, pelo Comandante do TSTP actuando em nome do Capitão do Porto e o Oficial responsável designado pelo Comandante. Na eventualidade de acontecer uma avaria no sistema de gás inerte, é da responsabilidade do Comandante suspender de imediato as operações de descarga e/ou lastro e notificar o Comandante do TSTP e/ou o Capitão do porto (Sistema de Autoridade Marítima). As operações de descarga e/ou lastro não podem reiniciar-se sem que o sistema esteja completamente operacional e as concentrações de gás e os níveis de pressão sejam restabelecidos.

23. Lavagem com crude

A lavagem com crude poderá ser autorizada pelo Comandante do TSTP por delegação do Capitão do Porto (Sistema de Autoridade Marítima) após análise do pedido efectuado antecipadamente pelo Navio na mensagem inicial, via Teleograma/Telex. Antes do início da descarga a listagem de segurança de lavagem a crude do TSTP deverá ser preenchida conjuntamente pelo Comandante do TSTP, pelo Comandante do Navio e por um Oficial com experiência em lavagem a crude do Navio. A listagem de segurança de lavagem a crude do TSTP deverá ser preenchida durante a lavagem

24. Desgaseificação

A desgaseificação dos tanques do Navio não é permitida enquanto o mesmo se encontrar na área de manobra do TSTP

25. Escada do portaló

Todos os Navios que utilizem o TSTP devem montar por ambos os bordos, escada de quebra costas ou escada de quebra costa e portaló combinadas, conforme especificado no “The Merchant Shipping (Pilot Ladders and Hoists) Regulations 1987”. A combinação de escadas acima descrita deve ser montada conforme descrita no Regulamento, e só deve ser usada unicamente para embarque e desembarque de pessoas. Em adição, todo o pessoal que embarque ou desembarque, deve envergar um colete salva - vidas devidamente aprovado.

Se algum Navio não cumprir com o exposto acima, o embarque e desembarque de pessoas não será autorizado. Os Comandantes dos Navios devem manter a zona do manifold de bombordo livre para permitir a aproximação do rebocador com as mangueiras flutuantes. Deve ainda ser acautelada a variação do calado do Navio para correcção da posição do portaló.

26. Âncoras do navio

As âncoras devem ser seguras por mordentes e peadas, para prevenir quedas acidentais antes de o Navio entrar de manobra do TSTP e durante a sua permanência nesta zona.

27. Reparações

Nenhuma reparação ou trabalho de manutenção que possa originar risco de ignição deverá ser efectuado enquanto o Navio se encontrar na área do TSTP, sem a prévia permissão do Comandante do TSTP.

28. Limpeza dos encanamentos da caldeira

Não poderão ser efectuados trabalhos na caldeira, tipo limpeza de encanamentos, enquanto o Navio se encontrar na área do TSTP.

29. Sinal de emergência de incêndio

No caso de ocorrer um incêndio, o Navio deverá emitir um apito longo, ao mesmo tempo que faz soar o alarme de incêndio e implementar de imediato os procedimentos internos para lidar com a situação. O Comandante do TSTP implementará de imediato os procedimentos do TSTP para lidar com situações de incêndio na zona do Terminal.

30. Embarque de mantimentos e sobressalentes

O transporte de mantimentos e de sobressalentes para os navios amarrados ao TSTP só poderá ser efectuado nas embarcações ao serviço da CLT. O seu embarque só poderá ser feito com as mangueiras desligadas, antes ou depois das operações de transferência, e expressamente autorizado pelo Comandante do TSTP.

31. Embarcações não autorizadas

Não é permitida a aproximação de qualquer embarcação não autorizada e é dever da tripulação do Navio manter à distância estas embarcações.

32. Visita a terra

Excepto em caso de emergência, nenhum dos Oficiais ou Tripulantes está autorizado a vir a terra e nenhum tipo de embarcação poderá ser arriada a bordo enquanto o Navio permanecer no Terminal, só se devida e expressamente autorizada pelo Comandante do TSTP.

33. Condições ambientais

As operações de carga e lastro serão interrompidas sempre que condições atmosféricas, tais como trovoadas, possam incorrer no aumento do risco da operação. É da total responsabilidade do Comandante do TSTP a manutenção do Navio amarrado à mangueira ou monobóia. O TSTP deverá estar equipado com equipamento de monitorização ambiental de registo contínuo, existindo em poder do comandante do TSTP um equipamento portátil para visualização instantânea das mesmas.

34. Interrupção das operações de descarga

Qualquer contravenção destes regulamentos ou o não acatamento, por parte do Navio de qualquer pedido razoável do Comandante do TSTP poderá levar à rejeição do mesmo. A decisão do Comandante do TSTP será soberana. O Navio terá sempre que estar em consonância com as resoluções da SOLAS e IMO. O Comandante do Navio tem o direito de efectuar uma paragem de emergência se ele tiver a percepção que o controlo das operações por parte do TSTP não é seguro, notificando previamente o Comandante do TSTP e a Refinaria.

35. Monitorização dos esforços

O Navio deve possuir um Sistema de Cálculo de Esforços computadorizado e operacional. O sistema deverá monitorizar os esforços do navio durante toda a operação no TSTP na condição de mar.



36. Conhecimento do Comandante

O Comandante do Navio deverá tomar conhecimento dos documentos respeitantes aos regulamentos de segurança antes de ser iniciada qualquer operação de descarga.

Requisitos dos Navios

Todos os navios que demandem o TSTP, deverão estar em boas condições de navegabilidade e flutuabilidade, terão que ter uma tripulação adequada, não deverão ter nenhuma fuga de crude e não podem apresentar condições que possam colocar em risco a transferência.

Previamente à chegada, o Comandante deverá assegurar-se que o Navio não tenha nenhuma fuga na selagem do veio principal. A pressão da selagem do veio, deverá ser sempre monitorizada durante toda a transferência, para assegurar que as variações de calado ou caimento não provoquem qualquer fuga.

Descarga de Lastro Sujo

Em nenhuma circunstância será permitida a recepção de qualquer tipo de lastro sujo.

Feita esta proposta/programa de prevenção, combate e monitorização em relação à poluição por hidrocarbonetos para S. Tomé e Príncipe, torna-se necessário referir alguns equipamentos mecânicos que devem estar disponíveis no TSTP, conforme se indica na tabela A3.

Tabela A3-Equipamento e Técnicas para a recuperação de derrames acidentais de Hidrocarbonetos

EQUIPAMENTOS	TIPOS	CARACTERÍSTICAS
BARREIRAS	- Semi-Flexível	São robustas, facilmente armazenadas, de lançamento rápido e de fácil limpeza.
	- Cortina com Flutuação Sólida	Resistente à água e óleo, manutenção fácil, bom comportamento face à ondulação e vento.
	- Cortina Insuflável	Sistema de flutuação independente, quarteladas de grande comprimento e com poucas uniões, velocidade de escape moderada, fácil lançamento e limpeza e bom comportamento na ondulação.
	- Pneumática	Fácil activação, elevado custo com eficácia muito baixa em águas profundas e em correntes fortes e são obstruídas por lamas, lodo ou sedimentos.
RECUPERADORES	- Dispositivos de Sucção	Cabeça de recolha, bomba de trasfega e um tanque de armazenamento equipado com sistema para aspirar os hidrocarbonetos para o interior do tanque.
	- Materiais Oleofílicos	Utilizam materiais oleofílicos na forma de disco, tambor, tapete ou correia, cordões flutuantes e escovas, aos quais os hidrocarbonetos aderem.
	- Dispositivos de Indução	- Sistema de separação múltipla; - Sistema de plano incluído; - Sistema Hidrociclone; - Bomba e parafuso - Sistema vortex - Sistema de vácuo

TÉCNICAS	TIPOS	CARACTERÍSTICAS
DISPERSANTES	1ª Geração	Solventes ricos em compostos aromáticos e bases tensioactivas de toxicidade relativamente elevada.
	2ª Geração “Convencionais”	Solventes de base petrolífera não aromáticos e por 15 a 25% de tensioactivos não iónicos, pouco tóxicos, em dosagem de 30 a 100% da quantidade de Hidrocarbonetos a tratar.
	3ª Geração “Concentrados”	Constituídos por 25 a 60% de tensioactivos e solventes orgânicos polares aos quais podem ser adicionados certos solventes hidrocarbonados.
ABSORVENTES	Absorventes a Ganel	- Materiais minerais; - Materiais de origem vegetal ou animal; - Materiais poliméricos sintéticos.
	Barreiras Absorventes, Almofadas, Rolos e Placas	- Custos elevados para uso de grandes derrames. - Problemas na manobra devido ao seu peso.
PRODUTOS GELIFICANTES		Um polímero e um agente aglutinador.
PRODUTOS DESEMULSIFICANTES		Tensioactivos em solventes, eficazes sobre emulsões de detritos viscosos e petróleo bruto, muito asfálticos, inoperantes em emulsões envelhecidas.
BACTÉRIAS	Pseudomonas, Alcaligenes, Micrococcicorynebactéria, Nocardia, Candida e Penicillium	- Desenvolvimento em águas oxigenadas; temperatura óptima entre 25 a 40 °C; - Biodegradação dos hidrocarbonetos.
AGLUTINAÇÃO	Agentes Tensioactivos	- Redução drástica de área e um aumento da espessura da camada de hidrocarbonetos; - Baixa taxa de aplicação.
AFUNDAMENTO	Areia Cinzas Cimento e alguns tipos especiais de argila	Lenta biodegradação no fundo do mar; favorece a contaminação.



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000060236