

**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

**Centro de Tecnologia e Ciências**

**Faculdade de Engenharia**

**Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente**

**Handerson Agnaldo de Almeida Lanzillotta**

**ÁRVORES DE DECISÃO COMO FERRAMENTAS DE APOIO  
À RESPOSTA A DERRAMES DE ÓLEO.**

**Rio de Janeiro**

**2008**

**Handerson Agnaldo de Almeida Lanzillotta**

**ÁRVORES DE DECISÃO COMO FERRAMENTAS DE APOIO  
À RESPOSTA A DERRAMES DE ÓLEO**

Dissertação submetida ao corpo docente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. Área de concentração Engenharia Ambiental e Sanitária.

**Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Marcia Marques Gomes, PhD**

**Rio de Janeiro**

**2008**

**CATALOGAÇÃO NA FONTE**  
**UERJ/ REDE SIRIUS/ BIBLIOTECA ENG**

Lanzillotta, Handerson Agnaldo de Almeida.

Árvores de decisão como ferramentas de apoio à resposta a derrames de óleo/ Handerson Agnaldo de Almeida Lanzillotta. – 2008. 152 f.

Orientador: Márcia Marques Gomes (PhD).

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia FEN/UERJ, M.Sc., Pós-graduação em Engenharia Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial, 2008 .

1. Derramamento de óleo. 2. Hidrocarbonetos de Petróleo. 3. Resposta a Emergências. 4. Árvores de Decisões.

**Autorizo apenas para fins acadêmicos e científicos a reprodução atual ou parcial desta dissertação.**

---

**Assinatura**

---

**Data**

**Handerson Agnaldo de Almeida Lanzillotta**

**ÁRVORES DE DECISÃO COMO FERRAMENTAS DE APOIO À  
RESPOSTA A DERRAMES DE ÓLEO**

Dissertação apresentada como requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Área de concentração Engenharia Ambiental e Sanitária.

Aprovada em: \_\_\_\_\_

Banca Examinadora:

\_\_\_\_\_

Orientador: Profa Marcia Marques Gomes, Ph.D., FEN/UERJ

\_\_\_\_\_

Profa Dra Silvia Dias Pereira, Oceanografia/UERJ

\_\_\_\_\_

Dr Roberto Giannini, Alpina Briggs Defesa Ambiental S/A, São Paulo

\_\_\_\_\_

Dr Renato Angelo Sartori Neto, CENPES, Petrobrás

Rio de Janeiro

2008

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a todos os companheiros que sabem o que é trabalhar em situações de emergência e em especial ao Sr. Mark Francis que além de ter possibilitado a realização deste mestrado, é uma das pessoas que mais entendem desse assunto.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço de coração à minha orientadora Profa Marcia Marques que apesar de estar dividida entre 2 mundos (Brasil e Suécia), está sempre presente nos momentos cruciais, e com sua sabedoria consegue transformar nossos encontros em momentos agradáveis de aprendizado e reflexão.

Meus mais nobres agradecimentos aos amigos de trabalho da Alpina Briggs Defesa Ambiental S/A alguns com mais de 30 anos de experiência de participação em emergências que enriqueceram as discussões sobre o desenvolvimento das árvores de decisões. Decidi não citar nomes, pois falei com tanta gente que possivelmente iria esquecer alguém.

Agradeço também à minha família, principalmente ao meu primo Flávio por me adotar; com isso ganhei preciosas horas de estudo todos os dias.

Não posso esquecer a minha equipe de trabalho Mark, Gabriela, Vívian, Anderson, Rogério e Thiago pelos mais diferentes tipos de ajuda e apoio para conciliar o mestrado com trabalho, com viagens, com aulas, com vida particular etc.

Agradeço aos desenvolvedores do SKYPE®.

## **A Verdadeira Natureza Humana**

A humildade fica perto da disciplina moral; a simplicidade de caráter fica perto da verdadeira natureza humana; e a lealdade fica perto da sinceridade de coração. Se um homem cultivar cuidadosamente essas coisas na sua conduta, não estará longe do padrão da verdadeira natureza humana. Com a humildade, ou uma atitude piedosa, um homem raramente comete erros; com a sinceridade de coração, um homem é geralmente digno de confiança; e com a simplicidade de caráter é comumente generoso. Cometerá poucos erros.

*Confúcio, in 'A Sabedoria de Confúcio'*

## RESUMO

Lanzillotta, Handerson. Árvores de decisão como ferramentas de apoio à resposta a derrames de óleo. 150 f. Dissertação de Mestrado (Eng. Ambiental). Faculdade de Engenharia. Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.

A resposta a derramamentos de óleo em meio marinho/aquático envolve um conjunto complexo de decisões - muitas vezes de natureza controversa - que devem ser tomadas quase que imediatamente após o derrame ter sido notado. A escolha de uma estratégia errada pode causar graves impactos ambientais, muitas vezes irreversíveis, que por sua vez causam impactos sócio-econômicos, tais como impedimento de pesca no local atingido e prejuízos ao turismo e às atividades de recreação, entre outros. Cada hora que se passa entre a ocorrência do acidente e a ação influencia no tipo de estratégia e nos impactos associados, tendo em vista que o óleo se espalha e o processo de intemperismo se inicia. Se as equipes de resposta não atuarem de forma rápida e eficaz, dependendo das propriedades do óleo, este poderá afundar ou atingir grandes áreas costeiras, aumentando os danos sobre ecossistemas costeiros e gerando grandes quantidades de resíduos oleosos. Com o objetivo de disponibilizar instrumentos práticos de apoio à decisão que sejam úteis às equipes responsáveis por respostas a derramamentos de óleo especialmente em ambiente marinho, 22 árvores de decisão foram elaboradas para as etapas da resposta consideradas mais relevantes, tendo como ponto de partida o tipo de óleo derramado segundo a classificação da ITOPF. As etapas da resposta selecionadas como relevantes foram: (a) escolha da estratégia geral de resposta mais adequada de acordo com o tipo de óleo (Grupos I, II, III, IV); (b) método de limpeza costeira mais adequado de acordo com o tipo de óleo; (c) barreira mais adequada para locais de circulação restrita de acordo com as características do local; (d) recolhedor (skimmer) mais adequado de acordo com o tipo de óleo; (e) aplicação de dispersantes químicos de acordo com a legislação vigente; (f) disposição final de resíduos oleosos e técnicas de remediação. Com base no trabalho desenvolvido, conclui-se que árvores de decisão podem se constituir em elementos importantes em uma resposta à emergência, ajudando a reduzir o tempo transcorrido entre o acidente e as ações de remediação.

**Palavras-chave:** Resposta a Derrames de Óleo, Árvore de Decisão, Plano de Contingência, Barreiras, Recolhedores, Dispersantes e Limpeza Costeira.

## ABSTRACT

The response to oil spills in marine/aquatic system often includes controversial decisions, which must be taken almost immediately after the accident has been noticed. Choosing the wrong strategy can result in larger and sometimes irreversible environmental impacts, which in turn, may cause socio-economic impacts, such as suspension of fishing practices in the affected areas, losses related to tourism and recreation, among others. Every hour that passes after the accident count, since the oil spreads and the weathering processes starts. If the response takes too long, dependent on the oil properties, it may sink or reach coastal ecosystems making the impacts even greater, including the generation of larger amounts of oily residues to be dealt with. Since the most appropriate options are dependent on many variables, including oceanographic and meteorological conditions, decision trees can be seen as one of the useful tools that can support decision processes after an accident takes place. Therefore, in this work 22 decision trees-DT were constructed to be used at the most relevant steps of an emergency response, having as the starting point the type of the oil that has been spilled according to the ITOPF's classification. The selected relevant steps for construction of the DTs were: (a) selection of the most appropriate general strategy according to the type of oil (Groups I, II, III, IV); (b) selection of the most appropriate method for coastal cleaning according to the type of oil; (c) selection of the most appropriate barrier for locals of restrictive circulation according to the site characteristics; (d) most appropriate skimmer according to the type of oil; (e) use of chemical dispersants according to the legislation; (f) selection of final disposal options and remediation techniques. Based on the work developed, it can be concluded that decision trees can be seen as important components of a response to emergency, helping to reduce the time between the accident and the remediation actions.

**Keywords:** Oil Spill Response, Decision Tree, Contingency Plan, Booms, Skimmers, Dispersants, Coastal Clean-Up.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Área atingida x tempo (Fonte: Apostila Alpina Briggs, 2006). .....	02
<b>Figura 2</b> - Locais que ocorreram os grandes derramamentos de óleo no mundo (Fonte ITOPF, 2007).....	04
<b>Figura 3</b> - Acidentes marítimos de maiores proporções (Fonte: ITOPF, 2007) .....	06
<b>Figura 4</b> - Derramamentos acima de 700 Ton. (Fonte: ITOPF, 2006) .....	06
<b>Figura 5</b> – Grau de intemperização do óleo da superfície da água de acordo com os grupos (Fonte: ITOPF, 2007). .....	14
<b>Figura 6</b> – Estrutura Molecular do Benzeno.....	19
<b>Figura 7</b> – Composição química de um óleo com Grau API de 35 (Fonte: API, 2000).....	22
<b>Figura 8</b> - Petróleo de baixo peso molecular.....	22
<b>Figura 9</b> – Hidrocarbonetos aromáticos leves .....	23
<b>Figura 10</b> – Petróleo Médio .....	23
<b>Figura 11</b> – Padrão de Busca Tipo ``Escada`` (Fonte Cetesb, 2002) .....	30
<b>Figura 12</b> – Avião equipado com o sistema SLAR .....	34
<b>Figura 13</b> – Limpeza Manual .....	43
<b>Figura 14</b> – Limpeza Mecânica .....	49
<b>Figura 15</b> – Fluxograma de Biorremediação.....	53
<b>Figura 16</b> – Cerco em J .....	63
<b>Figura 17</b> – Recolhedor Oleofílico .....	81
<b>Figura 18</b> - Eficiência dos recolhedores em função da viscosidade .....	88

<b>Figura 19</b> – Aplicação de Dispersantes Químicos .....	96
---	----

### **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1</b> - Acidentes marítimos de maiores proporções (Fonte: ITOPF, 2007) .....	05
<b>Tabela 2</b> - Principais vazamentos de óleo no litoral brasileiro (1974-2000) por volume vazado e por impacto ambiental - ordem cronológica (Modificado de Cetesb, 2000). .....	07
<b>Tabela 3</b> - Classificação de óleos baseada em The International Tanker Owners Pollution Federation (Fonte: ITOPF,1987). .....	24
<b>Tabela 4</b> - Quantidade de Derrames de acordo com o volume (Fonte: ITOPF, 2007) .....	26
<b>Tabela 5</b> – Escala Beaufort (Fonte INPE/CPTEC, 2008) .....	29
<b>Tabela 6</b> – Estimativa de Quantidade vazada de óleo (Fonte:ITOPF, 2007) .....	31
<b>Tabela 7</b> - Estado do Mar (Fonte: EEPR, 1998).....	65

## LISTA DAS ÁRVORES

<b>Árvore 1</b> - Exemplo de árvore de decisão: Escolha do meio de transporte para avaliação do acidente. ....	12
<b>Árvore 2</b> - Estratégia geral de resposta de acordo com o grupo de óleo. ....	38
<b>Árvore 3</b> - Árvore de Decisão para óleos do Grupo I .....	39
<b>Árvore 4</b> - Árvore de Decisão para óleos do Grupo II .....	40
<b>Árvore 5</b> - Árvore de Decisão para hidrocarbonetos do Grupo III e IV (Fonte: Baseado na Resolução CONAMA 269, de 14/09/2000). ....	42
<b>Árvore 6</b> - Árvore de Decisão para limpeza de costa – Derrames de Óleo Grupo I .....	57
<b>Árvore 7</b> - Árvore de Decisão para limpeza de costa – Derrames de Óleo Grupo II .....	58
<b>Árvore 8</b> - Árvore de Decisão para limpeza de costa – Derrames de Óleo Grupo III .....	59
<b>Árvore 9</b> - Árvore de Decisão para limpeza de costa – Derrames de Óleo Grupo IV .....	60
<b>Árvore 10</b> – Ambientes nos quais as barreiras podem ser aplicadas.....	62
<b>Árvore 11</b> - Aplicação de barreiras de contenção em rios de baixa vazão e corpos d'água de circulação restrita.....	71
<b>Árvore 12</b> - Aplicação de barreiras em áreas costeiras e águas abrigadas. ....	73
<b>Árvore 13</b> - Aplicação de barreiras em mar aberto (offshore). ....	75
<b>Árvore 14</b> - Aplicação de barreiras em rios rápidos. ....	77
<b>Árvore 15</b> - Aplicação de barreiras de proteção em áreas sensíveis, segundo MMA, 2002.....	79
<b>Árvore 16</b> - Aplicação de barreiras em situações com risco/ existência de fogo/ explosão....	82
<b>Árvore 17</b> – Escolha do recolhedor para óleos do grupo I. ....	94

<b>Árvore 18</b> – Escolha do recolhedor para óleos do grupo II .....	96
<b>Árvore 19</b> – Escolha do recolhedor para óleos do grupo III .....	98
<b>Árvore 20</b> – Escolha do recolhedor para óleos do grupo IV .....	99
<b>Árvore 21</b> – Tomada de Decisão Sobre Uso de Dispersantes (Fonte: Conama 269).....	108
<b>Árvore 22</b> – Árvore de Decisão quanto a Destinação Final dos Resíduos .....	122

## LISTA DAS ABREVIATURAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

API American Petroleum Institute

ASTM American Society for Testing and Materials

CETESB Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CLC Civil Liability Convention

CONAMA Conselho Nacional de Meio Ambiente

DPC Diretoria de Portos e Costas

EEPR Environmental / Energy Policy Research

GPS Global Positioning Systems

HPA Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos

IMO Organização Marítima Internacional

IPIECA International Petroleum Industry Environmental Conservation Association

ISM CODE International Safety Management Code

ITOPF International Tanker Owners Pollution Federation

LII Limite Inferior de Inflamabilidade

NEBA Net Environmental Benefits Analyse

NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration

NPK Nitrogênio, Fósforo e Potássio.

OCIMF Oil Companies International Marine Forum

ONG Organização Não Governamental

OPRC Oil Pollution Preparedness, Response and Co-Operation

OSRV Oil Spill Recovery Vessel

P & I Proteção e Indenização

POP Poluentes Orgânicos Persistentes

RPM Rotações Por Minuto

SAR Synthetic Aperture Radar

SLAR Side-Looking Airborne Radar

SOLAS Safety of Life at Sea

TOVALOP Tankers Owners Voluntary Agreement Liability on Oil Pollution

USA United State of America

UV Ultra Violeta

VOC Componentes Orgânicos Voláteis

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>01</b>
<b>1.1 Origem geológica e importância do petróleo .....</b>	<b>01</b>
<b>1.2 Procedimentos iniciais de resposta .....</b>	<b>01</b>
<b>1.3 Desastres Marítimos Relevantes e Convenções Internacionais .....</b>	<b>03</b>
<b>2.OBJETIVOS E ABORDAGEM METODOLÓGICA .....</b>	<b>09</b>
<b>2.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>09</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>09</b>
<b>3 ABORDAGEM METODOLÓGICA .....</b>	<b>10</b>
<b>4.ASPECTOS LEGAIS – MARCO REGULATÓRIO .....</b>	<b>12</b>
<b>5. CARACTERIZAÇÃO DO PETRÓLEO E SEUS DERIVADOS (ITOPF) .....</b>	<b>17</b>
<b>5.1 Composição química do petróleo .....</b>	<b>17</b>
<b>5.2 Classes de Petróleo .....</b>	<b>18</b>
<b>5.3 Classificação do petróleo .....</b>	<b>18</b>
<b>5.4 Classificação do petróleo quanto ao peso molecular .....</b>	<b>22</b>
<b>5.5 Classificação de óleos baseada em ITOPF – The International Tanker Owners Pollution Federation (1987). .....</b>	<b>22</b>
<b>6 ELEMENTOS RELEVANTES A ESTRATÉGIAS DE RESPOSTA A ACIDENTES.....</b>	<b>26</b>
<b>6.1 Constatação do evento .....</b>	<b>26</b>
<b>6.2 Avaliação das Causas e Natureza do Acidente .....</b>	<b>27</b>

<b>6.3 Dimensionamento do acidente, critérios de avaliação e ferramentas .....</b>	<b>28</b>
6.3.1 <i>Avaliação do derrame .....</i>	29
6.3.2 <i>Escala de velocidade do vento .....</i>	30
6.3.3 <i>Métodos para observação e registro .....</i>	31
6.3.4 <i>Métodos de Supervisionamento .....</i>	32
<b>7 RESULTADOS .....</b>	<b>38</b>
<b>7.1 Árvores de decisão para a escolha da melhor estratégia geral .....</b>	<b>38</b>
7.1.1 <i>Estratégia geral de resposta a derramamento de óleos do Grupo I.....</i>	38
7.1.2 <i>Estratégia geral de resposta a derramamento de óleos do Grupo II .....</i>	39
7.1.3 <i>Estratégia geral de resposta a derramamento de óleos do Grupo III .....</i>	40
7.1.4 <i>Estratégias geral de resposta a derramamento de óleos do Grupo IV .....</i>	41
<b>7.2 Limpeza costeira .....</b>	<b>43</b>
7.2.1 <i>Gerenciamento de um projeto de limpeza e técnicas de limpeza empregadas .....</i>	43
7.2.2 <i>Árvores de Decisão para a escolha do melhor método de limpeza costeira para derramamentos de óleos do Grupo I .....</i>	57
7.2.3 <i>Árvore de Decisão para a escolha do melhor método de limpeza costeira para derramamentos de óleos do Grupo II .....</i>	58
7.2.4 <i>Árvore de Decisão para a escolha do melhor método de limpeza costeira para derramamentos de óleos do Grupo III .....</i>	59
7.2.5 <i>Árvore de Decisão para a escolha do melhor método de limpeza costeira para derramamentos de óleos do Grupo IV .....</i>	60
<b>7.3 Barreiras .....</b>	<b>61</b>
7.3.1 <i>Partes de uma barreira e acessórios operacionais .....</i>	63

7.3.2 Tipos de barreira e eventuais falhas .....	64
7.3.3 Condições operacionais para barreiras .....	67
7.3.4 Árvore de Decisão para escolha de barreiras para locais de circulação restrita.....	70
7.3.5 Árvore de Decisão para escolha de barreiras em águas costeiras e áreas protegidas	72
7.3.6 Árvore de Decisão para escolha de barreiras para contenção em alto-mar: barreiras oceânicas (offshore) .....	74
7.3.7 Árvore de Decisão para escolha de barreiras para rios rápidos .....	76
7.3.8 Árvore de Decisão para escolha de barreiras de proteção de áreas sensíveis .....	78
7.3.9 Árvore de Decisão para escolha de barreiras para queima in-situ/ proteção ao fogo .	79
<b>7.4 Recolhedor (Skimmer) .....</b>	<b>82</b>
7.4.1 Tipos de Skimmers .....	83
7.4.2 Fatores que influenciam a eficiência dos recolhedores .....	90
7.4.3 Eficiência dos recolhedores em função da viscosidade .....	91
7.4.4 Árvore de Decisão para escolha do melhor recolhedor para óleos do Grupo I .....	93
7.4.5 Árvore de Decisão para escolha do melhor recolhedor para óleos do Grupo II .....	94
7.4.6 Árvore de Decisão para escolha do melhor recolhedor para óleos do Grupo III .....	97
7.4.7 Árvore de Decisão para escolha do melhor recolhedor para óleos do Grupo IV .....	99
<b>7.5 Dispersantes Químicos .....</b>	<b>100</b>
7.5.1 Critério para a Tomada de Decisão de Uso e Restrições .....	103
7.5.2 Métodos de Aplicação, Supervisão da Operação .....	105
7.5.3 Monitoramento Marítimo e Ambiental .....	106
7.5.4 Árvore de Decisão para Aplicação de Dispersantes Químicos .....	107

<b>7.6 Disposição final de resíduos oleosos e técnicas de remediação .....</b>	<b>109</b>
7.6.1 Planejamento da destinação dos resíduos gerados .....	109
7.6.2 Minimização de resíduos .....	110
7.6.3 Acondicionamento, Identificação, Quantificação, Armazenamento e Transporte .....	111
7.6.4 Tratamento e Destinação Final dos Resíduos Gerados .....	113
7.6.5 Árvore de Decisão quanto a Destinação Final dos Resíduos .....	121
<b>8. CONCLUSÕES .....</b>	<b>123</b>
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>124</b>
<b>10. ANEXOS.....</b>	<b>125</b>
10.1 ANEXO I - PARTES DE UMA BARREIRA (Fonte: CETESB, 2002).....	125
10.2 ANEXO II - BARREIRAS IMPROVISADAS (Fotos: Mark Francis).....	125
10.3 ANEXO III - BARREIRAS OCEÂNICAS (Fotos: Mark Francis).....	126
10.4 ANEXO IV - BARREIRAS PERMANENTES (Fotos: Handerson Lanzillotta) .....	126
10.5 ANEXO V - BARREIRAS COSTEIRAS (Fotos: Thiago Rocha).....	127
10.6 ANEXO VI - BARREIRAS de ASSENTAMENTO (Fotos: Mark Francis).....	127
10.7 ANEXO VII - RECOLHEDORES TIPO VERTEDOURO.....	128
10.8 ANEXO VIII - SKIMMERS OLEOFÍLICOS TIPO CORDA.....	128
10.9 ANEXO IX - RECOLHEDORES DE TAMBOR (SKIM DRUM).....	129
10.10 ANEXO X - RECOLHEDORES DE DISCO (DISC SKIMMER).....	129
10.11 ANEXO XI - RECOLHEDORES DE ESCOVA (BRUSH SKIMMER).....	129
10.12 ANEXO XII - RECOLHEDORES À MECÂNICOS (Fotos: Mark Francis).....	130

10.13 ANEXO XIII - RECOLHEDORES À VÁCUO (Fotos: Desconhecido).....130

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1 Procedimentos iniciais de resposta a acidentes de derramamento no mar**

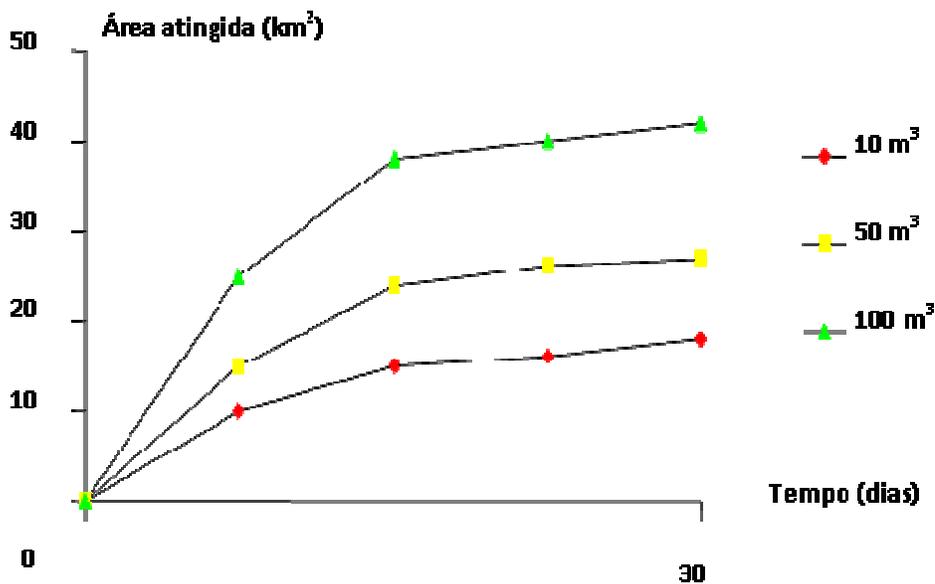
Nos primeiros momentos de uma emergência a falta de informação ou informações erradas ou incompletas, subdimensionam a dimensão do acidente, informações de volume de óleo, tipo de óleo e suas características físico-químicas e as condições ambientais e o local onde aconteceu o acidente são muito importantes para definir a estratégia de resposta que melhor se adéque a situação.

O início de uma emergência é sempre marcado por escolhas, sendo necessário tempo hábil para mobilizar as pessoas e os equipamentos quando o acidente acontece perto de portos e terminais muitas vezes já existem uma estrutura e equipamentos disponíveis nos locais, mas quando o acidente acontece ao longo da costa as dificuldades são maiores. Deve-se ter informações de como foi o derrame, onde ele aconteceu, qual será o impacto e danos associados e como poderemos reduzi-lo.

Em derrames de óleo que sejam de maior porte, devemos sempre aplicar o princípio da Net Environmental Benefits Analysis (NEBA) (IPIECA, 2000) (Baca *et al*, 2005). Muitas vezes temos que optar por qual área proteger, uma praia ou a entrada de um manguezal. Nas primeiras horas e primeiros dias os recursos sempre estarão limitados, e com o passar do tempo os recursos vão chegando e pessoal preparado vai assumindo sua posição de acordo com o estabelecido no plano de contingência. Como algumas estratégias causam impactos ao meio ambiente, temos sempre que por na balança se vale a pena a aplicação das mesmas. Uma limpeza de uma área de manguezal com uma equipe de 20 pessoas pode causar mais danos para o ambiente do que o próprio óleo.

Uma resposta rápida (Figura 1) tem como objetivo prevenir o espalhamento de óleo, na razão direta de que quanto mais rápida a resposta menor a área contaminada. Depois de contido o óleo a maior preocupação será com um menor número possível de áreas impactadas e assim, menores serão os custos de limpeza, menor também serão as multas e os custos para destinação de resíduos e as indenizações. A chave do sucesso é a resposta rápida, pois cada acidente é único, não temos acidentes iguais, cada qual vai depender do tipo de óleo, da quantidade vazada, das condições oceanográficas, meteorológicas e do local do acidente.

Verificou-se ao longo do tempo a necessidade de desenvolvimento de ferramentas que façam com que seja reduzido o tempo de tomadas de decisões, além do aumento da eficiência na resposta. Com base nos resultados verificados nos grandes acidentes que aconteceram na história é necessário um contínuo aperfeiçoamento dos Planos de Contingências, Planos de Emergências Individuais PEI (CONAMA, 293), comunicação (Brasil, 2003) procedimentos administrativos, atualização de mapas de sensibilidade, ``softwares``, equipamentos de detecção remota do óleo, além do aprimoramento das ferramentas gerenciais, como árvores de decisão, que subsidiarão as tomadas de decisão. Verifica-se que o desenvolvimento de árvores de decisão pode ser uma destas ferramentas essenciais que possam vir a aumentar a eficiência da resposta e minimizar os impactos decorrentes de um derramamento de óleo.



**Figura 1** - Área atingida x tempo (Fonte: Apostila Alpina Briggs, 2006).

## 1.2 Desastres marítimos relevantes e convenções internacionais

Incidentes de poluição por óleo ocorrem desde o início das atividades de exploração, produção, transporte, refino e distribuição de petróleo e derivados. No entanto, na década de 60, com a intensificação do comércio internacional, os desastres marítimos ganharam evidência (NOAA, 1992), tendo em vista a magnitude e severidade das conseqüências socioeconômicas e ambientais, bem como os enormes prejuízos financeiros causados por estes episódios.

Apesar de recentes avanços tecnológicos, derramamentos acidentais de óleo cru e seus produtos refinados acontecem durante operações rotineiras de extração, transporte, armazenamento, refino e distribuição. Calcula-se que vazaram 5.456.000 Tons de óleo nas 3 últimas décadas (70-90) no mundo (ITOPF, 2007), tabelas 1 e 2. Ao contrário da percepção popular, apenas 1/8 do óleo liberado no ambiente aquático é proveniente de acidentes de navio-tanque. Tais estimativas incluem um alto grau de incerteza e podem variar de ano a ano, dependendo diretamente das fontes (Zhu *et al* 2001).

Os mecanismos de compensação internacional (IPIECA, 2005) têm sido aplicados por mais de 25 anos auxiliando as vítimas de derramamentos da comunidade internacional. As convenções ao longo destes anos têm se mostrado satisfatórias e de fácil entendimento e estão sendo aplicadas em diversas regiões no mundo (IPIECA, 2000).

Eventos ocorridos nas décadas de 50 e 60 demonstraram a necessidade de se estabelecer acordos, regulamentos e convenções internacionais voltadas à prevenção da ocorrência de episódios agudos de poluição por óleo e, sobretudo, para tratar da responsabilização pelos danos causados tanto ao meio ambiente como também ao patrimônio público e de terceiros impactados pelo óleo derramado nestas ocorrências (Marpol, 1973).

Diante da ocorrência de graves acidentes, as empresas produtoras de petróleo e os proprietários de navios tanque criaram organismos setoriais, visando discutir e estabelecer, em conjunto com as autoridades marítimas, os acordos e convenções para tratar da prevenção e responsabilização de danos causados por incidentes de poluição por óleo. A seguir, são relatados brevemente alguns dos acidentes de grandes proporções, representado na figura 2.

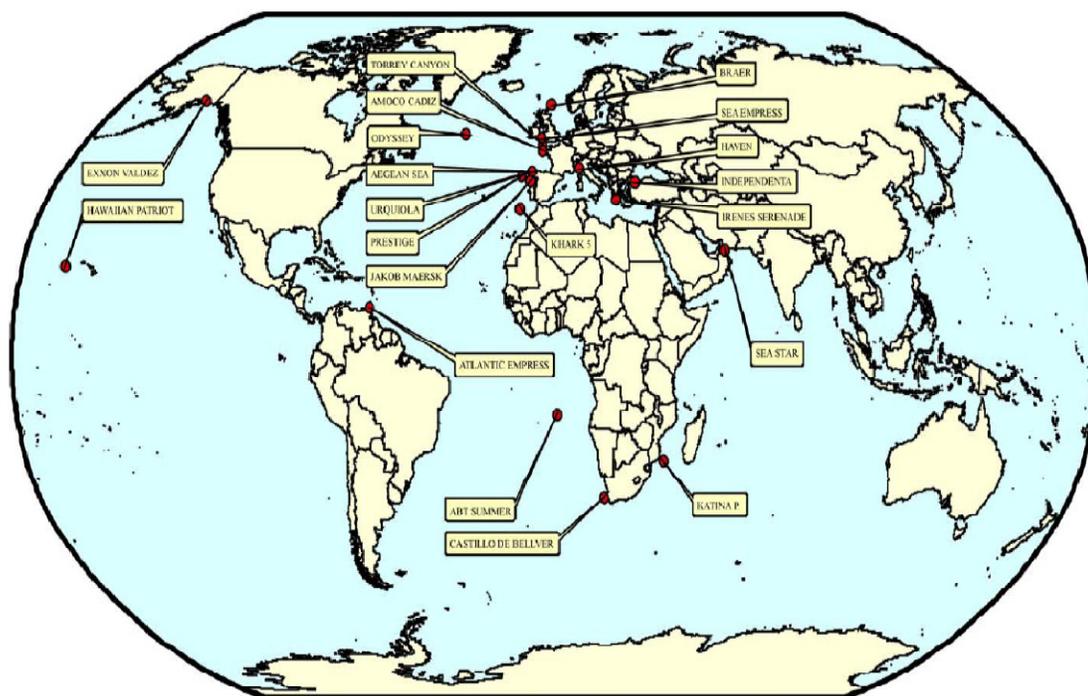
O acidente com o navio N/T Amoco Cadiz aconteceu em 16/03/1978 (NOAA, 1992) em Brittany, França. O navio carregava 3 tipos diferentes de petróleo; árabe leve, cru iraniano leve e Bunker C. A embarcação perdeu o controle encalhando sobre rochas a 3 milhas da costa de Brittany. Houve o derramamento de 1.619.048 barris. O mau tempo colaborou para o rápido espalhamento da mancha, contaminando aproximadamente 200 milhas de costa, chegando o óleo a penetrar até 20 cm nas praias. À época, as tecnologias escolhidas para resposta foram dispersão química, queima ``in situ`` e biorremediação.

Em 19/01/1991, por ocasião da guerra no Golfo, houve um vazamento no Kwait de 9.000.000 barris de óleo cru (NOAA, 1992). O acidente ocorreu devido a tanques de óleo

destruídos. Como remediação, foi usada a técnica de queima "in situ". Dispersantes não foram usados devido aos processos de intemperização do óleo.

No caso da Exxon Valdez em 24/03/1989 em Prince William Sound, Alaska, o vazamento de óleo cru na Baía Prudhoe, de óleo tipo 3, totalizou 240.500 barris. Foram usadas técnicas de queima "in situ", dispersantes, contenção e recolhimento e biorremediação.

A poluição marinha por óleo passou a preocupar ainda mais a comunidade internacional após a ocorrência do desastre com o navio Torrey Canyon, nas Ilhas Sicilly, em 1967, quando cerca de 119.000 toneladas de petróleo foram derramadas nas regiões costeiras da Inglaterra e da França. Este evento, além dos severos impactos ao meio ambiente e comunidades atingidas, demonstrou a ineficiência das leis de responsabilização pela poluição por óleo, pois, além de grande parte das reclamações por danos não terem sido atendidas, as ações de limpeza dos locais impactados tiveram que ser custeadas pelos países atingidos pelo óleo.



**Figura 2** - Locais dos grandes derrames de óleo no mundo (Fonte ITOPF, 2007).

A Tabela 1 e Figura 3 apresentam os maiores desastres ocorridos desde 1967 com navios petroleiros, ordenados de acordo com a quantidade vazada. Embora situado na 35<sup>o</sup>

posição, o desastre ocorrido com o navio Exxon Valdez foi incluído na tabela para demonstrar a relação “quantidade de óleo vazado x dano ambiental”. A Tabela 2 apresenta casos brasileiros. A Figura 4 mostra derrames envolvendo volumes de óleo superiores a 700 Ton entre 1970 a 2006. Observa-se que a cada década, o número de acidentes dessa magnitude vem diminuindo, o que se deve principalmente às inovações tecnológicas e normatização dos procedimentos operacionais.

**Tabela 1** - Acidentes marítimos de maiores proporções (Fonte ITOPF, 2007).

Posição	Navio	Ano	Referência – País	Quantidade (ton.)
1	Atlantic Empress	1979	Tobago - Índia	287.000
2	ABT Summer	1991	700 milhas de Angola	260.000
3	Castillo de Bellver	1983	Baía Saldanha - África do Sul	252.000
4	Amoco Cadiz	1978	Costa de Inglaterra e França	223.000
5	Haven	1991	Gênova - Itália	144.000
6	Odyssey	1988	700 milhas do Canadá	132.000
7	Torrey Canyon	1967	Ilhas Scilly - Reino Unido	119.000
8	Sea Star	1972	Golfo de Oman	115.000
9	Irenes Serenade	1980	Baia Navarino - Grécia	100.000
10	Urquiola	1976	La Coruna - Espanha	100.000
11	Hawaiian Patriot	1977	300 milhas de Honolulu-USA	95.000
12	Independenta	1979	Bosphorus - Turquia	95.000
13	Jakob Maersk	1975	Oporto - Portugal	88.000
14	Braer	1993	Ilhas Shetland - Reino Unido	85.000
15	Khark 5	1989	120 milhas de Marrocos	80.000
16	Aegean Sea	2002	Costa da Espanha	74.000
17	Sea Empress	1992	La Coruna - Espanha	72.000
18	Katina P	1996	Milford Haven - Reino Unido	72.000
19	Nova	1985	Island Kharg – Golfo do Irã	70.000
20	Prestige	2002	Costa da Espanha	63.000
35	Exxon Valdez	1989	Prince William, Alaska - USA	35.000

O Exxon Valdez apesar de ter sido o 35<sup>o</sup> da lista as condições ambientais e a ineficiência de resposta acarretaram grandes danos ambientais, colocando este acidente como de grande proporção ambiental.

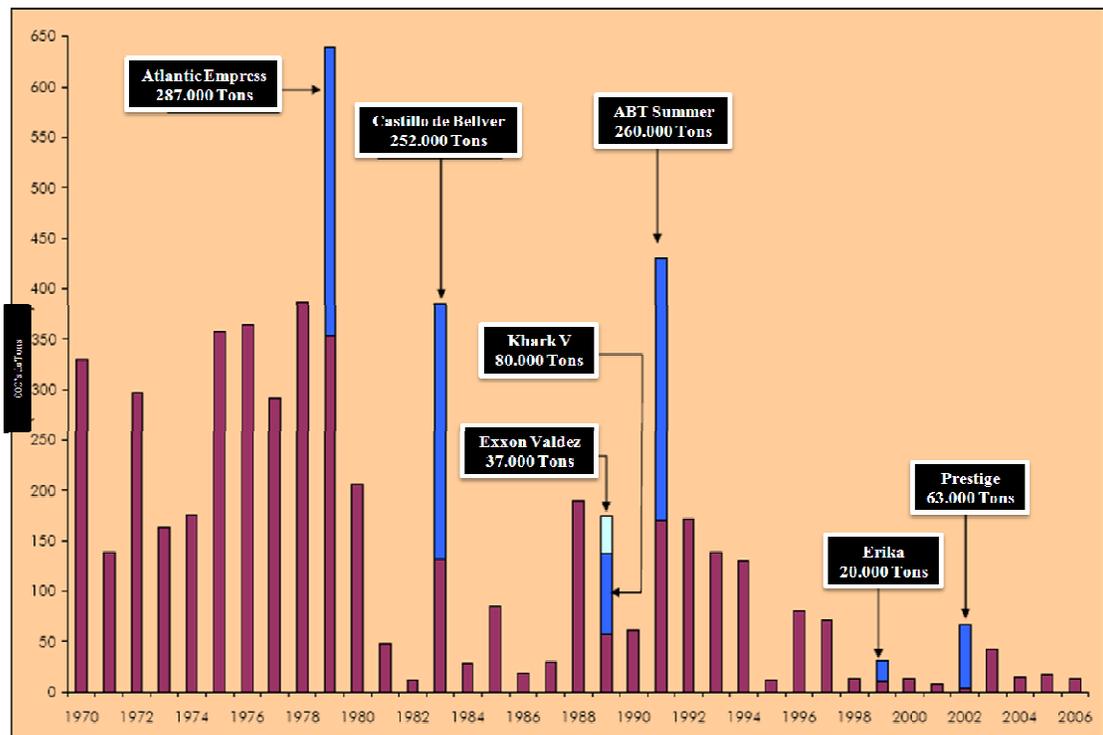


Figura 3 - Acidentes marítimos de maiores proporções (Fonte ITOPF, 2007).

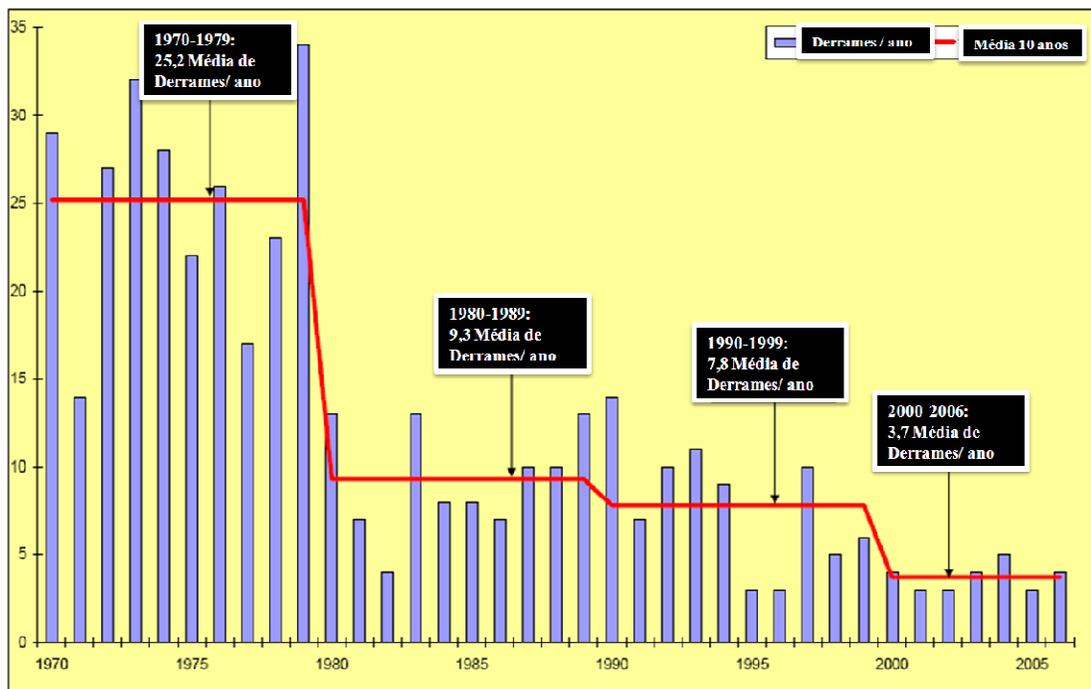


Figura 4 - Derramamentos acima de 700 Ton. (Fonte ITOPF, 2007).

**Tabela 2** - Principais vazamentos de óleo no litoral brasileiro (1974-2000) por volume vazado e por impacto ambiental - ordem cronológica (Modificado de Cetesb, 2000).

Fonte/Causa	Data	Local/Áreas atingidas	Vol. vazado (m <sup>3</sup> )
N/T Sinclair Petrolore* desconhecida	dez/1960	Costa brasileira/ desconhecido	66.530
N/T Takamyia Maru** acidente de navegação	ago/1974	São Sebastião (SP)/ praias e costões/ Ubatuba	6.000
N/T Tarik Ibn Ziyad** acidente de navegação	mar/1975	Baía de Guanabara (RJ) praias e costões,	6.000
N/T Brazilian Marina acidente de navegação	jan/1978	São Sebastião (SP) praias e costões	6.000
Oleoduto / Vila Socó rompimento	fev/1984	Cubatão (SP) Mangue e Vila:mortos/feridos	1.200
Oleoduto S. Sebastião /Cubatão rompimento	nov/1983	Bertioga (SP) mangue, praias e costões	2.500
N/T Marina /acidente de navegação	mar/1985	São Sebastião (SP) praias e costões/4 municípios	2.000
N/T Penelope acidente de navegação	mai/1991	São Sebastião (SP) praias, costões, marisma	280
N/T Theomana /não apurada	set/1991	Bacia de Campos (RJ) mar aberto	2.150
Oleoduto S. Sebastião-Cubatão rompimento	mai/1994	São Sebastião (SP) praias e costões	2.700
Oleoduto REDUC/Ilha d'Água /Rompimento	mar/1997	Baía da Guanabara (RJ)/ mangue	2.700
Oleoduto REDUC/Ilha d'Água/ rompimento	jan/2000	Baía da Guanabara (RJ) mangue, praias e costões	1.300
N/T Vergina acidente de navegação	nov/2000	São Sebastião (SP) praias, costões, marisma, mangue	86
Plataforma P 36	mar/2001	Bacia de Campos (RJ) mar aberto	150
Plataforma P 7	abr/2001	Bacia de Campos (RJ) mar aberto	124
Navio Norma/ nafta acidente de navegação	out/2001	Baía de Paranaguá (PR)	5000

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O presente trabalho teve por objetivo geral analisar e selecionar os principais aspectos de uma estrutura organizacional para resposta eficiente a um derramamento de óleo, e elaborar árvore(s) de decisão como instrumentos de apoio na escolha da resposta adequada a cada tipo de acidente, com ênfase nos ambientes marinhos e áreas costeiras atingidas.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Mostrar os acidentes e derrames envolvendo óleo e derivados em meio marítimo no Brasil e no mundo;
- Descrever os elementos que compõem uma resposta a um derramamento de óleo;
- Discutir as técnicas existentes de resposta a derramamentos de óleo utilizadas no mundo e considerar a aplicabilidade das mesmas;
- Analisar as classes de barreiras e recolhedores, aplicabilidades e eficiência, face aos diferentes cenários e tipos de produtos;
- Discutir as técnicas de aplicação de dispersantes e de queima *in situ*;
- Discutir formas de limpeza empregada nos ambientes costeiros;
- Identificar as técnicas que geram maior ou menor quantidade de resíduos e a destinação final dos mesmos;
- Construir árvore(s) de decisão para escolha da estratégia de resposta em função dos diferentes tipos de acidente e características dos mesmos e construir árvore de decisão para escolha da destinação dos resíduos gerados, conforme natureza e características dos mesmos.

### 3 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Uma árvore de decisão tem como principal vantagem, enquanto instrumento de apoio à decisão, o elevado grau de interpretabilidade: Uma decisão complexa é decomposta numa sucessão de decisões elementares. Uma árvore de decisão utiliza a estratégia de *dividir para conquistar*: Um problema complexo é decomposto em sub-problemas mais simples; recursivamente, a mesma estratégia é aplicada a cada subproblema.

As árvores no presente trabalho (ver exemplo *Árvore 1*) foram construídas para suporte a decisões que devem ser tomadas em diferentes etapas de resposta a um derramamento de óleo. No contexto do presente trabalho, para a construção das árvores, sete etapas mais relevantes da resposta foram escolhidas:

1. Decisão sobre a estratégia geral mais adequada de acordo com o tipo de óleo derramado (Grupos I, II, III, IV);
2. Decisão sobre o método de limpeza costeira mais adequada de acordo com o tipo de óleo derramado (Grupos I, II, III, IV);
3. Decisão sobre a barreira mais adequada para locais de circulação restrita, de acordo com as características do local;
5. Decisão sobre o recolhedor ``skimmer`` mais adequado de acordo com o grupo de óleo (Grupos I, II, III, IV);
6. Decisão sobre a aplicação de dispersantes químicos de acordo com a legislação vigente;
7. Decisão sobre a disposição final de resíduos oleosos mais adequados e técnicas de remediação.

Para o desenvolvimento de árvores de decisão foi feito uma revisão bibliográfica das publicações relevantes de âmbito internacional e nacional. Foram consultados convenções internacionais e documentos balizados pela Organização Marítima Internacional (IMO), da qual, o Brasil faz parte. A legislação brasileira, em particular, foi bastante consultada.

Foram ainda utilizadas, como base na elaboração das árvores, informações disponibilizadas a partir de lições aprendidas com grandes acidentes e estratégias de resposta

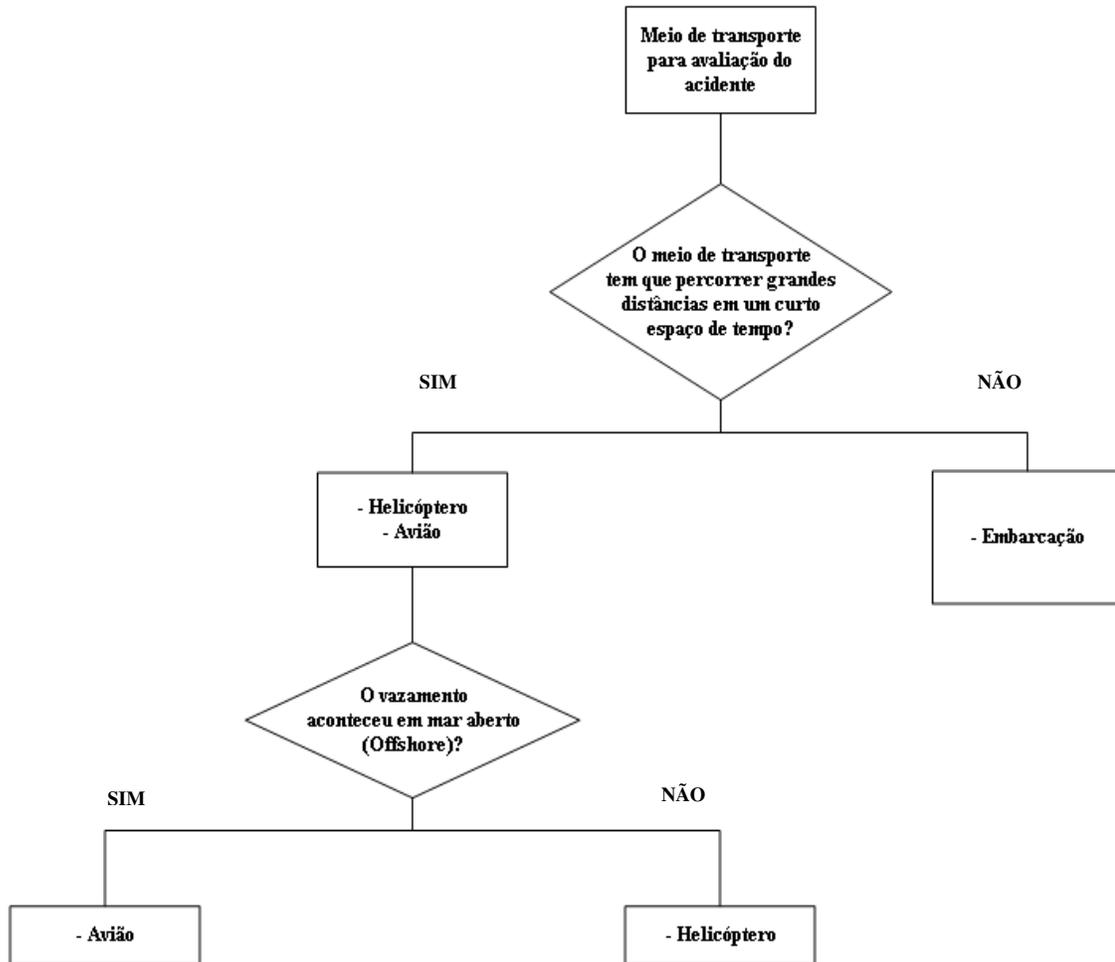
empregadas na época.

A experiência de campo do autor foi útil à elaboração das árvores de decisão encontradas na presente dissertação. Tal experiência foi adquirida como Analista de Operações da empresa Alpina Briggs Defesa Ambiental S/A e como Coordenador de Operações do OSRV DSND Marati, tendo o autor participado de cerca de 150 operações de derrames de óleo de pequena à grande magnitude no Brasil e em outros países da América Latina.

As árvores elaboradas foram discutidas com profissionais seniores e membros das equipes de atendimento a emergências da Alpina Briggs Defesa Ambiental S/A, alguns deles com mais de 20 anos de experiência em derrames de óleo e com atuações em mais de 30 países.

Como ponto de partida, foi considerado na montagem das árvores o tipo do óleo envolvido no derrame e as circunstâncias ambientais, tais como, proximidade de áreas sensíveis, altura de ondas, correntezas e ventos, profundidade, etc.

Tendo em vista a grande diversidade de ambientes costeiros no mundo, sempre que a limpeza litorânea era pertinente, o foco foi colocado principalmente nas opções aplicáveis aos perfis geomorfológicos encontrados na costa brasileira. A Árvore 1 ilustra de forma simplificada como se constrói uma árvore de decisão.



**Árvore 1** - Exemplo de árvore de decisão: Escolha do meio de transporte para avaliação do acidente.

#### **4. ASPECTOS LEGAIS – MARCO REGULATÓRIO**

O descarte de substâncias oleosas é considerado um Crime Ambiental, de acordo com a Lei Federal Nº 9.605 de 12.02.1998 - Art. 54 (na página inicial veja Legislação e Convenções/Nacional). Este assunto também é tratado na Lei Federal Nº 9.966 de 28.04.2000 - que dispõe sobre a poluição das águas por substâncias químicas e oleosas, nos Art. 15 ao 21; e no Decreto Federal Nº 4.136 de 20.02.2002 - que dispõe sobre infrações às regras de prevenção, controle e fiscalização da poluição das águas por lançamento de substâncias químicas e oleosas (Cetesb, 2008).

Marcos regulatórios importantes para o setor foram as convenções e regulamentações internacionais, tais como: MARPOL 73/78, OPRC 90 (Convenção Internacional sobre Preparo, Responsabilidade e Cooperação em Casos de Poluição por Óleo), estabelecida no 16º Encontro da IMO, em 1989 (Londres 30/11/90). Tal convenção tem por finalidade estabelecer mecanismos de cooperação à altura dos grandes derrames de óleo. Outro mecanismo de controle são as exigências da Organização Marítima Internacional para navios, tais como o Código Internacional de Segurança Marítima (ISM CODE), além da pressão da mídia e da sociedade.

Após o óleo derramado e após o evento constatado, uma série de medidas emergenciais de resposta pré-definidas será desencadeada, ou seja, tudo que estava escrito em um plano de emergência que foi testado, aprovado pelo órgão ambiental, treinado e divulgado deverá ser posto em prática passo a passo. Uma série de procedimentos deve ser cumprido a fim de se obter uma resposta mais apropriada, rápida e eficiente no início de um acidente e que para que isto aconteça, o líder da equipe de resposta deve conhecer com detalhes o trabalho e a área que está sob sua responsabilidade.

A equipe de resposta tem que saber avaliar o acidente e as alternativas de resposta cabíveis em diferentes acidentes, com diferentes volumes e em diferentes cenários. As pessoas envolvidas na mitigação do acidente devem possuir experiência prévia, devem conhecer os equipamentos de contenção e recolhimento, embarcações e sistemas de aplicação de dispersantes químicos, as técnicas de limpeza de costa, e devem estabelecer um sistema adequado de comunicação. As estruturas do time de resposta e dos colaboradores devem estar previamente estabelecidas no plano de emergência, e a comunicação com os integrantes deste

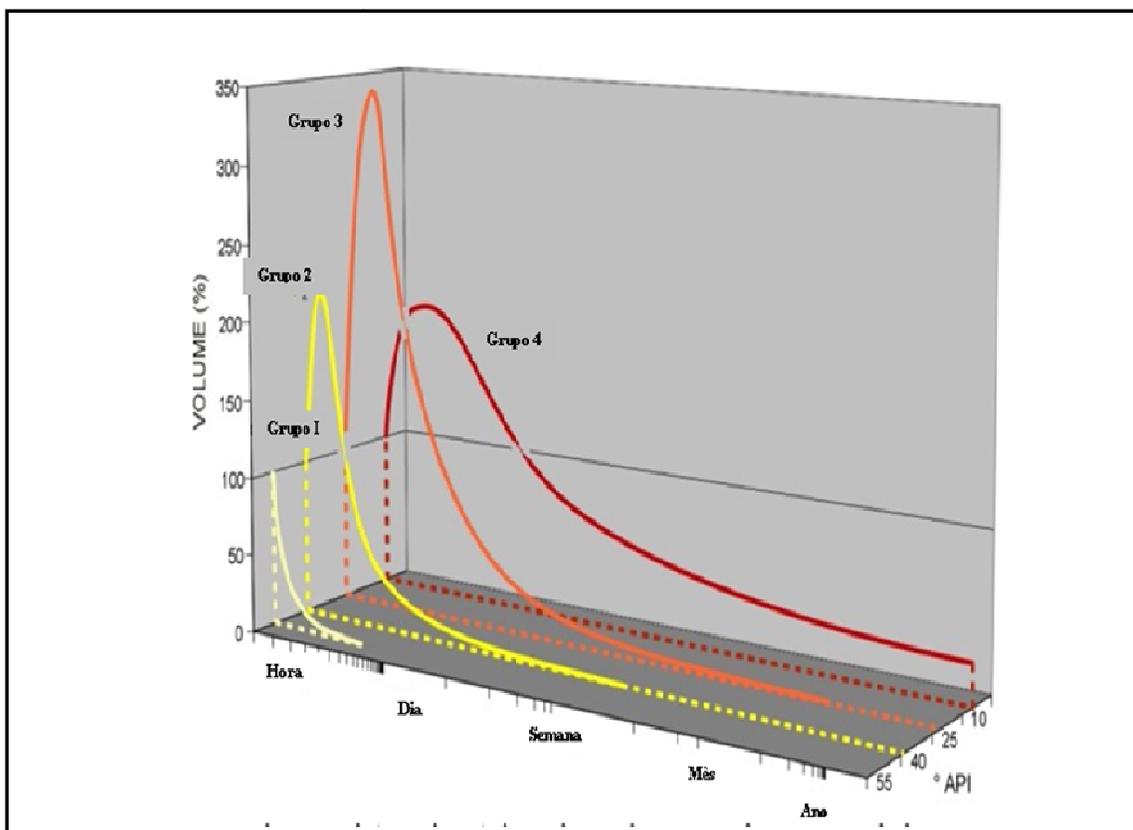
plano devem ser imediata. O uso dos simulados servirá para testar as árvores de decisões.

Na maioria dos acidentes, as primeiras horas após o mesmo são marcadas por uma grande confusão e pouca informação. As atitudes no início da emergência irão influenciar a performance do time de resposta durante todo o atendimento à emergência. Uma grande lista de tarefas deve ser cumprida após um incidente. As ações devem ser iniciadas o mais rápido possível e devem ser avaliados também, no primeiro momento, os riscos associados ao produto vazado.

Medidas rápidas para contenção e remoção do óleo serão adotadas, ou quem sabe ainda outra técnica, tal qual proteção de área sensível, dispersão, biorremediação, limpeza da costa ou somente observação do comportamento da mancha de óleo (Modelagem), de acordo com os processos de intemperização do óleo (Figura 5).

O estado do mar, condições de vento, o tipo de óleo, os acessos ao local do acidente, o local onde aconteceu o acidente, são informações essenciais que deve-se conhecer para definirmos as estratégias de resposta que poderão ser aplicadas.

A Organização Marítima Internacional (IMO) é a agência especializada das Nações Unidas responsável pela melhora da segurança marítima e prevenção e controle da contaminação marítima. Atualmente existem 153 estados membros e mais de 50 organizações não governamentais (ONG) que participam no trabalho da IMO que resultou na adoção de aproximadamente 30 convênios e protocolos, assim como numerosas recomendações no que se refere à segurança marítima e à contaminação do mar. Uma das metas mais importantes da estratégia da IMO quanto à proteção do meio ambiente marítimo, consiste em fortalecer a capacidade de ação regional e nacional na prevenção, controle, combate e mitigação da contaminação marítima e, para estes fins, fomentar a cooperação técnica.



**Figura 5** – Taxas de remoção do óleo da superfície da água de acordo com os grupos (Fonte:ITOPF, 2007).

A IMO promoveu reuniões com órgãos governamentais e setoriais privados, representantes dos produtores e transportadores de petróleo, visando avaliar e adequar a legislação relativa à responsabilização por danos causados pelos incidentes de poluição por óleo. Tal iniciativa culminou, em 1969, na Conferência Diplomática ocorrida em Bruxelas, ocasião em que foi firmada a “Civil Liability Convention” ou “Convenção Internacional sobre Responsabilidade Civil por Danos de Poluição de Óleo”, conhecida internacionalmente como “CLC 69” e ratificada por 79 países (os Estados Unidos não estão incluídos).

A Convenção de Responsabilidade Civil-CLC/69 tem a finalidade de estabelecer os limites de responsabilidade dos proprietários de navios por danos a terceiros decorrente de derrame de óleo no mar. A Convenção é bastante rígida ao determinar a responsabilidade do armador que é isentado somente em caso de guerras, caso fortuito, ato intencional de terceiros ou falha de autoridades. Os recursos são obtidos através de Clubes de Proteção e Indenização P & I. Esta convenção foi ratificada pelo Governo Brasileiro, através da lei No 83540 – Regulamenta a Convenção Internacional – C.L.C./69. Tal lei estabelece em seu ART. 8º

Parágrafo 1 que “Qualquer incidente deverá ser comunicado imediatamente à Capitania dos Portos da área, ou Órgão a ela subordinado, por quem tomar conhecimento de fato que possa resultar ou tenha resultado em poluição por óleo”.

A Capitania dos Portos, ao receber a comunicação deve participar o incidente aos Órgãos Federal e Estadual de Meio Ambiente da área atingida. A D.P.C. (Diretoria de Portos e Costas) apura os fatos relativos ao incidente, coliga as provas necessárias, e encaminha ao Órgão Federal de Meio Ambiente a documentação resultante da investigação efetuada.

Ainda em 1969, armadores de petroleiros criaram o “Tankers Owners Voluntary Agreement Liability on Oil Pollution (TOVALOP)”, com a finalidade de assumir, voluntariamente, a responsabilidade pelos prejuízos causados a terceiros, decorrentes de incidentes marítimos de poluição por óleo, quando não aplicável a “CLC 69”.

Em outra conferência realizada em Bruxelas, em 1971, ficou estabelecida a criação do “Fundo Internacional de Compensação por Danos pela Poluição por Óleo (IOPC Fund)”, custeado pelos armadores, com recursos provenientes da cobrança de uma taxa sobre a quantidade anual de petróleo transportado por via marítima.

Outro acordo estabelecido em 1971 foi o “Contract Regarding Interim Supplement to Tankers Liability for Oil Pollution (CRISTAL)”, financiado pelos proprietários das cargas sinistradas, visando complementar os valores estabelecidos no “TOVALOP”.

Em 1998, em razão da maioria das nações marítimas ter ratificado a “CLC 69”, bem como as metas do “IOPC Fund” terem sido alcançadas, os acordos “TOVALOP” e “CRISTAL” deixaram de vigorar. As convenções são aplicadas em qualquer Estado que a ratificou, independente da bandeira do armador ou do dono da carga.

Pelo exposto, tanto o desastre ocorrido com o navio “Torrey Canyon”, em 1967, como também os acordos e convenções estabelecidas entre 1969 e 1971 podem ser consideradas como “marcos históricos” no tratamento das questões relacionadas com a responsabilização por danos causados pela ocorrência de incidentes marítimos de poluição por óleo.

Marcos regulatórios importantes para o setor foram as convenções e regulamentações internacionais, tais como: MARPOL 73/78, e OPRC 90 que é a Convenção Internacional

sobre Preparo, Responsabilidade e Cooperação em Casos de Poluição por Óleo”, estabelecida no 16º Encontro da IMO, em 1989 (Londres 30/11/90). Tal convenção tem por finalidade estabelecer mecanismos de cooperação à altura dos grandes derrames de óleo. Um outro mecanismo são as exigências da Organização Marítima Internacional para navios, tais como o Código Internacional de Segurança Marítima, além da pressão da mídia e da sociedade.

## **5. CARACTERIZAÇÃO DO PETRÓLEO E SEUS DERIVADOS**

### **5.1 Composição química do petróleo**

Os hidrocarbonetos presentes no petróleo são de três classes diferentes – parafínicos, naftênicos e aromáticos, estando presentes desde compostos com um átomo de carbono até com mais de 60 átomos de carbono. Outros elementos presentes aparecem sob forma de compostos orgânicos, os quais em alguns casos formam complexos organometálicos. Metais também podem ocorrer como sais de ácidos orgânicos.

O petróleo é um composto formado por diferentes substâncias químicas, do metano ao asfalto. Embora a maioria dos constituintes seja hidrocarbonetos compostos formados exclusivamente por carbono e hidrogênio (82 a 87% em carbono e 11 a 15 % em hidrogênio),

Por causa da predominância de hidrocarbonetos no petróleo, são esses os compostos utilizados como indicadores deste tipo de poluição. Os hidrocarbonetos, no entanto, não existem apenas no petróleo, ocorrendo normalmente como produtos de biossíntese da maioria das plantas e animais.

### **5.2 Classes de Petróleo**

O petróleo apresenta milhares de compostos diferentes, formando uma mistura muito complexa. Entre os principais componentes estão os hidrocarbonetos que chegam a atingir 98% da composição total. Enxofre, nitrogênio e oxigênio são os constituintes menores mais importantes. Há ainda metais traço como vanádio, níquel, sódio, cálcio, cobre e urânio (Posthuma, 1977).

Produtos refinados como gasolina, diesel, óleos lubrificantes, querosene, óleo combustível contém os mesmos compostos que o petróleo, mas com um intervalo de pontos de ebulição mais restrito. Além disso, em processo de refino, como o craqueamento, há geração de olefinas (alcenos e cicloalcenos), que existem em alta concentração na gasolina (CETESB, 2008).

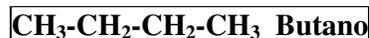
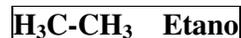
Os hidrocarbonetos presentes no petróleo apresentam propriedades físico-químicas bastante distintas entre si. Desta forma, as propriedades físicas dos petróleos encontrados na natureza podem variar bastante, de acordo com o tipo de hidrocarboneto predominante.

A partir de qualquer tipo de petróleo pode-se obter, por seu refino, a maioria de seus derivados o que vai variar é a quantidade e a qualidade, diferindo, apenas, nos tipos de processos empregados.

### 5.3 Classificação do petróleo

#### Parafínico (Alcanos)

Possuem cadeias de carbono abertas e, dependendo da quantidade de átomos de carbono, podem se apresentar nas formas gasosa, sólida, pastosa e líquida. São hidrocarbonetos de cadeia aberta e saturada, ou seja, possuem apenas ligações simples entre os átomos de carbono. De fato, os alcanos são bem menos reativos que outros tipos de hidrocarbonetos. Esta série de hidrocarbonetos compreende a maior fração da maioria dos petróleos.



Olefinas – (Alcenos) - São hidrocarbonetos de cadeia aberta, possuindo uma ligação dupla entre os átomos de carbono. Esta série está ausente no petróleo ou existe em quantidades muito pequenas. Os processos de craqueamento produzem grandes quantidades de olefinas, como na produção de gasolina. Para efeitos de remediação do petróleo no meio ambiente os alcenos tendem a ser mais solúveis em água e mais tóxicos do que os alcanos correspondentes.



#### Naftênicos

Vários dos ciclo alcanos, também chamados de ciclo parafinas ou naftenos, estão entre os constituintes menores mais importantes. Os Naftenos aromáticos apresentam estruturas cíclicas saturadas e aromáticas ao mesmo tempo.

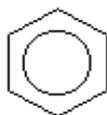
Conhecidos como componentes alicíclicos, freqüentemente possuem átomos de carbono em forma de um ou mais anéis. São hidrocarbonetos de cadeia fechada e saturada. É a segunda série mais abundante na maior parte dos petróleos. Os naftênicos são geralmente estáveis e relativamente insolúveis em água. Os compostos alifáticos são compostos de cadeia aberta e de cadeia fechada com propriedades químicas semelhantes. Já os compostos aromáticos são o benzeno e os compostos que se assemelham ao benzeno em comportamento químico.

Quando existe predominância de hidrocarbonetos naftênicos. O petróleo do tipo naftênico produz subprodutos com as seguintes propriedades principais:

- Gasolina de alto índice de octanagem.
- Óleos lubrificantes de baixo resíduo de carbono.
- Resíduos asfálticos na refinação.
- Possuem cadeias em forma de anel.

#### Aromáticos

Os aromáticos são os que contêm um núcleo benzênico (Fig. 6) ou mais e entre eles, estão os policíclicos aromáticos que contém 3 ou mais núcleos. Sua construção básica é o clássico anel de seis carbonos. Os componentes aromáticos são uma fusão de anéis de benzeno que são freqüentemente ligados a uma cadeia parafínica (mistos). Geralmente a quantidade de aromáticos no petróleo é pequena em relação às quantidades de Naftenos e Benzeno, o que é muito bom, considerando que os aromáticos possuem componentes mutagênicos e carcinogênicos.



**Benzeno**

**Fig. 6** – Estrutura Molecular do Benzeno

A toxicidade de hidrocarbonetos aumenta com o número de anéis e com o grau de substituição alquila. Os hidrocarbonetos possuindo dois ou mais anéis aromáticos são denominados de HPAs (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos).

Muitos dos compostos aromáticos de baixo peso molecular são solúveis em água, o que aumenta o risco de exposição dos seres aquáticos. Propriedades aromáticas são aquelas propriedades do benzeno que o torna distinto dos hidrocarbonetos alifáticos.

Os HPAs, também classificados como poluentes orgânicos persistentes (POP) são os principais produtos da combustão incompleta de todos os tipos de matéria orgânica, tais como o carvão, óleo, gás e tabaco, entre outros. Tais compostos são potencialmente perigosos e são amplamente distribuídos pelo meio ambiente na forma de misturas complexas. Certos HPAs são reconhecidamente mutagênicos ou carcinogênicos, com atividade dependente de sua forma molecular. Por exemplo, benzo (e) pireno é muito menos tóxico do que o benzo (a) pireno. Estudos indicam que algumas pessoas que respiraram ou tiveram contato com produtos que possuíam em sua composição HPA por muito tempo desenvolveram algum tipo de câncer.

No ambiente os HPAs submetem-se a várias reações químicas, fotoquímicas e biológicas, resultando em novos compostos. Alguns HPA são submetidos ao processo de degradação rapidamente, quando expostos ao ar e à luz atmosférica. Alguns desses compostos apresentam uma toxicidade menor aos seres humanos e outros, como nitro-HPA, têm efeitos de toxicidade ainda maior do que os produtos originais. Os HPAs são suscetíveis a transformações metabólicas por bactérias, fungos e organismos superiores, incluindo células humanas. Durante muito tempo acreditou-se que o metabolismo oxidativo era exclusivamente um processo de desintoxicação, porque os metabólicos testados geralmente eram menos ativos nos ensaios de tumorigenicidade e mutagenicidade.

Quando existe predominância de hidrocarbonetos aromáticos, este tipo de petróleo é raro, produzindo solventes de excelente qualidade e gasolina de alto índice de octanagem. Não se utiliza este tipo de petróleo para a fabricação de lubrificantes. Após a seleção do tipo desejável de óleo cru, os mesmos são refinados através de processos que permitem a obtenção de óleos básicos de alta qualidade, livres de impurezas e componentes indesejáveis. Chegando às refinarias, o petróleo cru é analisado para conhecer-se suas características e definir-se os processos a que será submetido para obter-se determinados subprodutos. Evidentemente, as refinarias, conhecendo suas limitações, já adquirem petróleos dentro de determinadas especificações. A separação das frações é baseada no ponto de ebulição dos hidrocarbonetos.

## Mistos

Quando possuem misturas de hidrocarbonetos parafínicos e naftênicos, com propriedades intermediárias, de acordo com maior ou menor percentagem de hidrocarbonetos parafínicos e naftênicos.

## Asfaltenos

Os asfaltenos de petróleo são hidrocarbonetos que apresentam uma estrutura molecular extremamente complexa, aos quais estão associadas diferentes proporções de nitrogênio, enxofre e oxigênio. Estes compostos ocasionam diversos problemas como o bloqueio de tubulação de extração e transporte de crus, redução do seu aproveitamento econômico e contaminação dos ecossistemas. A biodegradação dos asfaltenos é um processo que constitui num importante método para eliminar esses compostos e trata de reduzir os problemas que eles ocasionam, apesar de ser um processo que ocorre em proporções muito reduzidas.

## Resinas

São compostos polares de alto peso molecular e contém oxigênio, nitrogênio e enxofre. Esses componentes são considerados ingredientes-chave no processo de emulsificação.

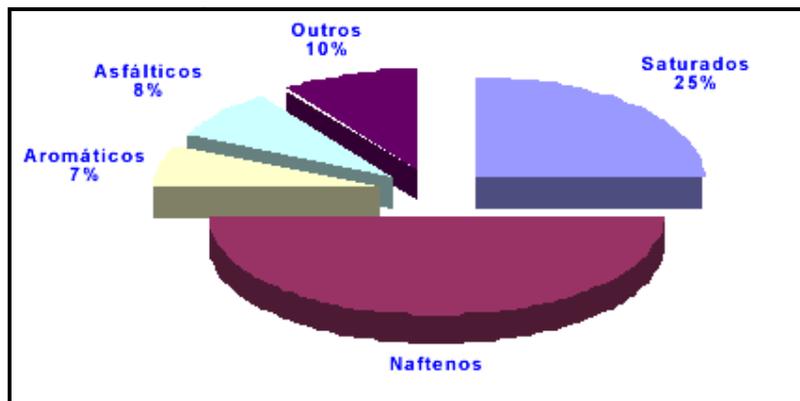
Os principais produtos provenientes do refino do petróleo são: gás combustível, GLP, gasolina, nafta, querosene, óleo diesel, óleos lubrificantes, óleos combustíveis, matéria-prima para fabricar asfalto e parafina.

### **5.4 Classificação do petróleo quanto ao peso molecular**

O petróleo são compostos de uma variação de combinações, e de acordo com seus pesos moleculares, podem ser classificados como leves, médios e pesados:

O Instituto Americano do Petróleo (API, do inglês *American Petroleum Institute*) desenvolveu um sistema universal para classificação dos óleos crus baseado em sua densidade. Em vez de expressar a densidade nos termos tradicionais de peso por unidade de volume, a gravidade API é descrita em graus da escala API. As características do petróleo em função da gravidade API são resumidas abaixo .

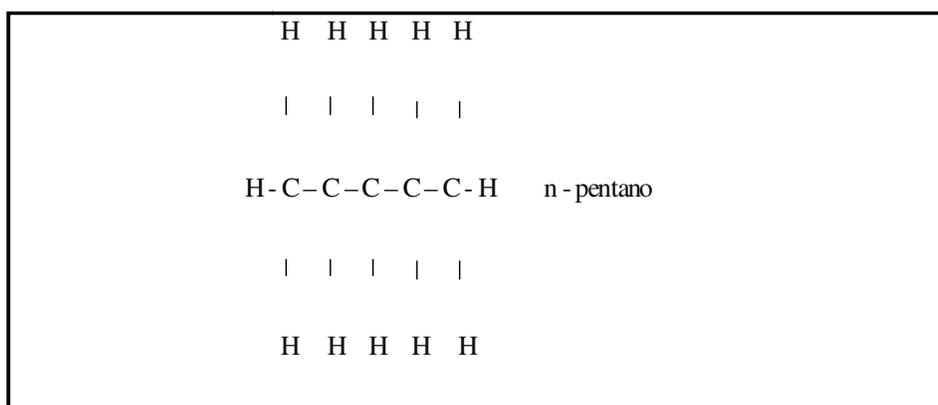
Em geral, um óleo cru com um grau API de 35º poderia ter a seguinte composição química (Figura 7):



**Figura 7** - Composição química de um óleo com Grau API de 35 (Fonte: API, 2000).

#### 5.4.1 Petróleo Muito Leve e Leve (baixo peso molecular)

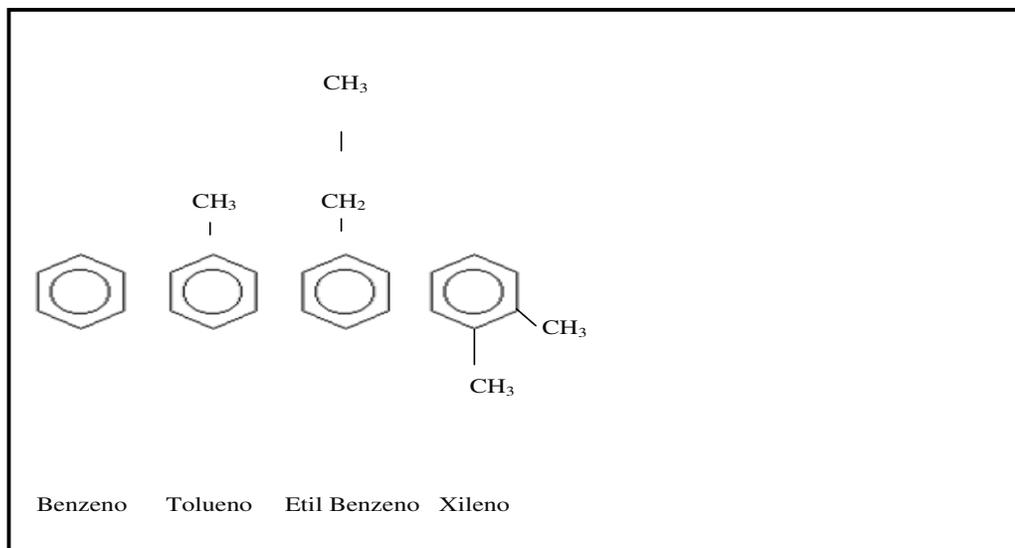
Estes compostos possuem de 1 a 10 átomos de carbono na sua estrutura (Figura 8), possuem moléculas pequenas, com poucos átomos de carbono. Apresentam alta volatilidade, evaporam-se e dissolvem-se rapidamente, deixando pouco ou nenhum resíduo, por possuírem estrutura molecular simples (curto tempo de residência). Muitos desses compostos (ex. benzeno) são considerados mais biodisponíveis aos organismos aquáticos (principal via de exposição: sistema respiratório). Também são potencialmente inflamáveis e prontamente inaláveis, sendo, portanto, de interesse da saúde humana e sua segurança.



**Figura 8** – Petróleo de baixo peso molecular.

Os hidrocarbonetos aromáticos leves (de baixo peso molecular), considerados de maior interesse por causa de sua alta toxicidade são os BTEX (Figura 9). Os hidrocarbonetos

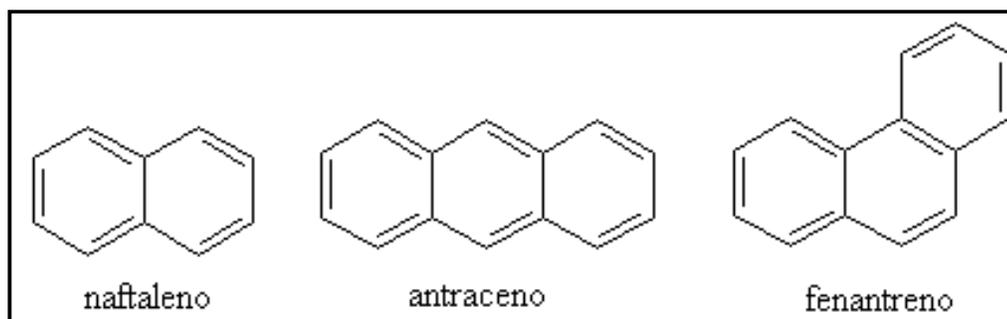
aromáticos são mais tóxicos do que os hidrocarbonetos alifáticos por conta de sua estrutura: o baixo peso molecular dos aromáticos tem alta taxa de mortalidade pela sua natureza polar, apresentando altas constantes de solubilidade e fácil assimilação pelos seres vivos.



**Figura 9** – Hidrocarbonetos aromáticos leves.

#### 5.4.2 Petróleo Médio

Possuem de 11 a 22 átomos de carbono, já possuem moléculas mais complexas (Figura 10), evaporam-se ou dissolvem-se mais lentamente, deixando algum resíduo remanescente (tempo de residência maior). Alguns desses compostos intermediários são considerados mais tóxicos do que os compostos leves, e diferentemente destes, são menos biodisponíveis, sendo portanto menos provável que afetem a biota (principal via de exposição: sistema respiratório sendo prontamente absorvidos pela pele, ingestão, recobrimento e asfixia).



**Figura 10** – Petróleo Médio.

### 5.4.3 Petróleo Pesado

Possuem 23 ou mais átomos de carbono, são muito pouco voláteis e solúveis (o maior tempo de residência entre os componentes do petróleo), podem causar efeito crônico por recobrimento, como resultado do resíduo na coluna d'água e sedimentos tais como pelotas de óleo e etc. (principal via de exposição: contato direto tóxico). Alguns compostos de alto peso moleculares contêm carcinogênicos que podem ser absorvidos através da pele e o risco de exposição é maior por causa de sua longa persistência no ambiente.

### 5.5 Classificação de óleos baseada em ITOPF – ``The International Tanker Owners Pollution Federation (1987)``.

A International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF, 1987) estabeleceu a classificação (Tabela 3) que é acatada pela IMO. Apesar de dentro desses mesmos grupos existirem óleos com características distintas, esta é uma forma prática para o processo de tomada de decisão que exige rapidez de resposta, razão pela qual as estratégias de resposta elaboradas no presente trabalho basearam-se na classificação da ITOPF.

**Tabela 3** - Classificação de óleos baseada em The International Tanker Owners Pollution Federation (Fonte: CETESB, 2002).

ITOPF	Densidade	<sup>0</sup> API	Classificação	Meia Vida	Persistência
Grupo I	< 0,8	>45	Muito leve	~24h	1-2 dias
Grupo II	0,8 a 0,85	35 a 45	Leve	~48h	3-4 dias
Grupo III	0,85 a 0,95	17,5 a 35	Médio	~72h	6-7 dias
Grupo IV	> 0,95	<17,5	Pesado	~168h	>7 dias

As estratégias de resposta serão baseadas a partir deste quadro acima, grupos de óleo, e apesar de nestes mesmos grupos existirem óleos com características distintas, esta é uma forma prática para o processo de tomada de decisão.

## **6 ELEMENTOS RELEVANTES A ESTRATÉGIAS DE RESPOSTA A ACIDENTES**

### **6.1 Constatação do evento**

Após o óleo derramado e após o evento constatado, uma série de medidas emergenciais de resposta pré-definidas começará a ser desencadeada, ou seja, tudo que estava escrito em um plano de emergência e que foi testado, aprovado pelo órgão ambiental competente, depois de treinado e divulgado, deverá ser posto em prática passo a passo. Uma série de procedimentos devem ser cumpridos fim de se obter uma resposta mais apropriada, rápida e eficiente no início de um acidente. Para que isto aconteça o líder da equipe de resposta deve conhecer com detalhes o trabalho e a área que está sob sua responsabilidade. A equipe de resposta tem que saber avaliar o acidente e as alternativas de resposta cabíveis para diferentes acidentes, com diferentes volumes e em diferentes cenários. As pessoas envolvidas na limpeza devem possuir experiência de limpeza de ambientes costeiros e margens de rios, deve ser estabelecida uma adequada comunicação. As estruturas do time de resposta e dos colaboradores devem estar previamente estabelecidas no plano de emergência, a comunicação com os integrantes deste plano devem ser imediata.

Na maioria dos acidentes, as primeiras horas após o acidente são marcadas por grande confusão e pouca informação, as atitudes no início da emergência irão influenciar a performance do time de resposta durante toda a resposta à emergência. Uma grande lista de coisas a fazer deve ser cumprida após um incidente, as ações devem ser iniciadas o mais rápido possível e devem ser avaliados também no primeiro momento os riscos associados ao produto vazado e estratégia de resposta a ser utilizada. Medidas rápidas para contenção e remoção do óleo serão adotadas, ou quem sabe ainda outra técnica, tal qual proteção de área sensível, dispersão, biorremediação, queima *in situ*, limpeza da costa ou monitoramento.

É regra geral para o sucesso em uma operação, rapidez, eficiência da equipe, disponibilidade da mesma, treinamento realizado pela equipe de combate, quantidade de pessoas preparadas e estado de manutenção dos equipamentos envolvidos e, por fim, as condições ambientais associadas com o cenário do evento. Se não se conhece os acessos a uma determinada região, a operação pode ser seriamente comprometida. O sistema de manutenção dos equipamentos de combate a derramamentos de óleo deve ser muito rigoroso para não haver surpresas. As pessoas que fazem parte do plano devem ser localizadas

imediatamente. A chave do sucesso é exaustivos treinamentos e simulados. Portanto, pode-se afirmar que combates a derramamentos não são nada simples, exigindo por fim muita disciplina e seriedade de todos os envolvidos.

## 6.2 Avaliação das causas e natureza do acidente

A maioria de acidentes resulta na combinação de ações e circunstância, fazendo com que haja uma grande variação nas causas dos acidentes. Segue a análise de diferentes derramamentos de diferentes, tamanhos em termos de evento primário ou progresso da operação até a hora do derramamento. Alguns dos derrames, por falta de informações, foram listados como origem desconhecida.

Pequenos derrames (Tabela 4) resultam de operações de rotina, como carregamento, descarga de petroleiros e abastecimento de embarcações, normalmente ocorrem em portos e terminais, e estes derrames operacionais são pequenos, sendo que 91% estão relacionados com volumes de óleo derramado com menos que 7 Tons. Já para os maiores acidentes, cerca de 84% dos derramamentos acima de 700 Tons foram ocasionados por situações de colisões e encalhes.

**Tabela 4** - Quantidade de Derrames de acordo com o volume (Fonte ITOPF, 2007)

	< 7 t	7-700 t	>700 ts	Total
<b>OPERAÇÕES</b>				
Carga e Descarga	2821	332	30	3183
Bunkering	548	28	0	574
Outras Operações	1178	56	1	1235
<b>ACIDENTES</b>				
Colisões	173	296	97	566
Encalhe	235	222	118	575
Falha no Casco	576	90	43	709
Fogo e Explosão	88	15	30	133
Origem Desconhecida	2181	148	24	2353
<b>TOTAL</b>	<b>7800</b>	<b>1185</b>	<b>343</b>	<b>9328</b>

### **6.3 Dimensionamento do acidente, critérios de avaliação e ferramentas**

Grandes derrames de óleo podem ter sérias conseqüências ao meio ambiente e gerar impactos econômicos. Pessoas comuns, mídia e etc. geralmente tem grande interesse neste tipo de circunstância e são bastante noticiados pela mídia. Conhecer a extensão do problema, o volume derramado. Estimar os impactos que possam vir a ocorrer é fundamental para uma resposta eficiente e para informar sobre o incidente para a sociedade.

O desenvolvimento de tecnologias de monitoramento (U.S. Coast Guard *et al*, 2006) e de sensoriamento remoto possibilitou um melhor acompanhamento, muitas vezes em tempo real, de ações de combate a derrames de óleo, podendo, em muitas situações, determinar quais medidas deverão ser tomadas, a fim de minimizar o impacto do acidente sobre o meio ambiente e sociedade.

Um bom registro por vídeos e por máquinas fotográficas ainda é eficiente ferramenta para o auxílio de tomada de decisão. Com o desenvolvimento de tecnologias digitais, muitas vezes, o Comando de Resposta tem acesso a informações em tempo real.

#### **6.3.1 Avaliação do derrame**

Reconhecimento aéreo é um elemento essencial de resposta efetiva a derramamentos de óleo no mar. É usado para avaliar o local e extensão de contaminação do óleo e fazer predições, verificando o movimento e destino de óleo no mar. Vigilância aérea provê informação que facilita desenvolvimento e controle de operações no mar, a proteção oportuna de locais ao longo de litorais ameaçados e a preparação de recursos para limpeza total da área da costa.

Observação visual de óleo flutuante do ar é o método mais simples de determinar o local de um derramamento de óleo. Porém, obter resultados satisfatórios requer preparação detalhada antes da partida para interpretação cuidadosa das informações obtidas.

O monitoramento do óleo derramado pode ser realizado por helicóptero. Este recurso possibilita a aproximação às manchas de óleo, ideal em águas costeiras. Helicópteros não possuem grande autonomia de vôo. Em mar aberto, há menos necessidade de mudança de velocidade, direção e altitude, e a velocidade do avião é mais vantajosa para voar a grandes

distâncias. Porém, qualquer aeronave usada tem que ter boa visibilidade e recursos de navegação satisfatórios.

Os primeiros modelos do derramamento do óleo eram modelos de superfície tipicamente bidimensionais, usando-se constantes ou parâmetros variáveis, acionado com o vento velocidades de correntes de superfícies lisas. Trabalho recente de Reed *et all* em 1994 sugere que, em ventos em locais sem quebrar de ondas, 3.5% da velocidade de vento dá uma boa simulação de deslocamento de mancha de óleo em áreas costeiras. Porque a velocidade de vento aumenta devido a maior área vélica, o óleo será disperso na coluna da água, e o atrito da corrente torna-se mais importante.

Modelagem tem se mostrado muito eficiente para regiões oceânicas mas na área costeira muitas vezes os modelos não tem correspondido à realidade, o momento de inserção dos dados é muito importante, a não inclusão de determinado parâmetro pode gerar resultados diferentes da realidade.

Os 2 processos principais do transporte do óleo derramado na água são espalhamento e advecção. Para derramamentos pequenos (<100 tambores), o processo de espalhamento é completado dentro da primeira hora da do vazamento.

Os ventos, as correntes, e turbulência em grande escala são os mecanismos de advecção que podem transportar o óleo a grandes distâncias. No geral, o movimento do óleo pode ser estimado como a soma de vetor da tração do vento (3% da velocidade de vento), da corrente de superfície, e o espalhamento em turbulência em grande-escala (difusão). (NOAA, 2000)

### 6.3.2 Escala de velocidade do vento

A escala da velocidade de vento é chamada de Escala Beaufort (Tabela 5) após o almirante senhor Francis Beaufort, que desenvolveu a escala em 1805 para estimar a velocidade de vento e o estado do mar. A tabela fornece uma aproximação estimada da velocidade de vento, particularmente útil se você estiver observando de um avião. A seguinte tabela mostra a escala do vento de Beaufort para a velocidade de vento e as características correspondentes do mar.

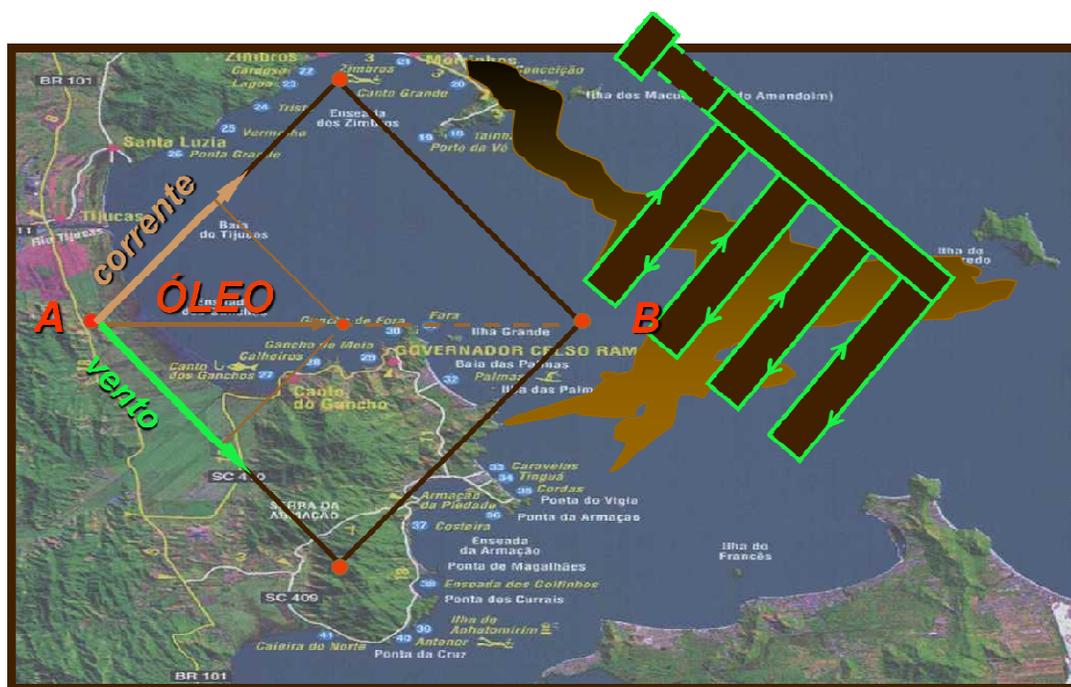
**Tabela 5 – Escala Beaufort (Fonte: INPE/CPTEC, 2008)**

Grau	Designação	nós	km/h	m/s	Aspecto do mar	Efeitos em terra
0	<i>Calmaria</i>	<1	<2	<1	Espelhado	Fumaça sobe na vertical
1	<i>Bafagem</i>	1 a 3	2 a 6	1 a 2	Pequenas rugas na superfície do mar	Fumaça indica direcção do vento
2	<i>Aragem</i>	4 a 6	7 a 11	2 a 3	Ligeira ondulação sem rebentação	As folhas das árvores movem; os moinhos começam a trabalhar
3	<i>Fresco</i>	7 a 10	13 a 19	4 a 5	Ondulação até 60 cm, com alguns <i>carneiros</i>	As folhas agitam-se e as bandeiras desfraldam ao vento
4	<i>Moderado</i>	11 a 16	20 a 30	6 a 8	Ondulação até 1.5 m, <i>carneiros</i> frequentes	Poeira e pequenos papéis levantados; movem-se os galhos das árvores
5	<i>Fresco</i>	17 a 21	31 a 39	9 a 11	Ondulação até 2.5 m, muitos <i>carneiros</i>	Movimentação de árvores pequenas; superfície dos lagos ondula
6	<i>Muito Fresco</i>	22 a 27	41 a 50	11 a 14	Ondas grandes até 3.5 m; borrifos	Movem-se os ramos das árvores; dificuldade em manter um guarda chuva aberto
7	<i>Forte</i>	28 a 33	52 a 61	14 a 17	Mar revolto até 4.5 m com espuma e borrifos	Movem-se as árvores grandes; dificuldade em andar contra o vento
8	<i>Muito Forte</i>	34 a 40	63 a 74	17 a 21	Mar revolto até 7.5 m com rebentação e faixas de espuma	Quebram-se galhos de árvores; circulação de pessoas difícil
9	<i>Duro</i>	41 a 47	76 a 87	21 a 24	Mar revolto até 9 m; borrifos afectam visibilidade	Danos em árvores; impossível andar contra o vento
10	<i>Muito Duro</i>	48 a 55	89 a 102	25 a 28	Mar revolto até 12 m; superfície do mar branca	Árvores arrancadas; danos na estrutura de construções
11	<i>Tempestade</i>	56 a 63	104 a 117	29 a 32	Mar revolto até 14 m; pequenos navios sobem nas vagas	Estragos abundantes em telhados e árvores
12	<i>Furacão</i>	>64	>119	>33	Mar todo de espuma; visibilidade nula	Grandes estragos

Predições aproximadas de movimentos de manchas de óleo podem ser feitas sobre papel (cartas náuticas), com informações sobre a direcção e velocidade da corrente da superfície e a direcção e velocidade do vento.

Óleo flutuante se moverá a aproximadamente 3,5% da velocidade de vento (Reed *et al* 1994) e a 100% da força das correntes de superfície. Perto da terra, a força e direcção de qualquer corrente de maré devem ser consideradas ao predizer o movimento do óleo, considerando que para mar afora a contribuição de outras correntes do oceano predomina em cima da natureza cíclica do movimento relativo à maré. É normalmente necessário planejar uma procura aérea sistemática para averiguar a presença ou ausência de óleo em uma dada área. Um padrão de busca aérea tipo escada (Fig 11), é frequentemente o método mais usado e mais económico para inspecionar uma área. Ao planejar uma procura, deve-se prestar devida atenção à visibilidade, altitude, duração de vôo provável e disponibilidade de combustível.

Óleo flutuante tem uma tendência a ser prolongado e alinhado paralelo à direção do vento. Para planejar uma procura tipo “escada”, é aconselhável saber a direção do vento e das correntes, pois assim aumentam as chances de descoberta de óleo.



**Figura 11** - Padrão de Busca Tipo Escada. (Fonte: Cetesb, 2002)

### 6.3.3 Métodos para observação e registro

Observação precisa será realizada tendo cartas náuticas e mapas disponíveis da região. É necessário também ter informações básicas, como o local do derramamento, as características litorais pertinentes e o tipo de óleo derramado, para saber a taxa de espalhamento. Durante o vôo, deve ser realizada anotação cuidadosa de todos os locais potencialmente passíveis de contaminação. Características pertinentes devem ser registradas para possibilitar preparar com segurança um relatório informativo do vôo.

Em particular, esforços de resposta são concentrados nas áreas mais significantes do derramamento. É importante anotar as concentrações mais densas de óleo. Equipamentos de GPS na aeronave permitem definir o local das manchas de óleo. Fotografia, também é uma ferramenta útil de registro de informações e permite a outros verem a situação no local do acidente. Aeronave dedicada de sensoriamento remoto tem freqüentemente embutido máquinas fotográficas acopladas com um GPS ``Global Position System``

Uma estimativa da quantidade de óleo (Tabela 6) observada no mar é importante como orientação, seria um passo eficiente da resposta, possibilitando planejar a estratégia de resposta principal, e ter uma ordem de grandeza do volume de óleo. É então crucial que durante o vôo o observador possa distinguir entre brilho e manchas mais espessas de óleo. É muito difícil ter a noção da densidade do óleo, principalmente se o mar estiver agitado. Todas as estimativas devem ser vistas com precauções consideráveis. A tabela abaixo dá alguma orientação, mas é difícil avaliar emulsões de água-em-óleo de óleo pesado cru e óleo combustível, que podem variar em densidades de milímetros para muitos centímetros.

**Tabela 6** – Estimativa de Quantidade vazada de óleo (Fonte ITOPF, 2007)

<b>Tipo de Óleo</b>	<b>Aparência</b>	<b>Espessura Aproximada</b>	<b>Volume Aproximado em (m<sup>3</sup>/ km<sup>2</sup>)</b>
Brilho	Prata	>0,0001 mm	0.1
Brilho	Iridiscente (Arco-íris)	>0,0003 mm	0.3
Cru e Óleo Combustível	Marrom para Preto	>0,1 mm	100
Emulsões	Marrom/Laranja	>1 mm	1000

Uma procura sistemática aérea pode ser necessária para obter um registro cuidadoso da extensão e da quantidade do óleo sobre a água. O avião precisa sobrevoar até as manchas principais do óleo, de forma que manchas periféricas fora do derramamento principal possam ser registradas ou desconsideradas. É aconselhável usar óculos de sol polarizados para reduzir o brilho e ajudar na detecção do óleo. Toda a visibilidade em torno é essencial, de forma que os efeitos do sol e reflexos do vento sobre as marolas sejam minimizados. Uma boa carta náutica ou mapa em uma escala razoavelmente grande é essencial para marcar os contornos de manchas e para fazer anotações sobre espessura, etc.

#### 6.3.4 Métodos de Supervisionamento

##### Visualização Humana

Hoje em dia são usados recursos conjugados, como GPS, máquinas fotográficas, câmeras de vídeo e equipamentos sofisticados, e o próprio olho humano, para observação no local, a fim de uma melhor avaliação do cenário do acidente. Algumas vezes este método de

avaliação pode levar a erros de interpretação como a visualização de algas, marés vermelhas, matéria orgânica e outros que se parecem muito com manchas de óleo (NOAA, 2000).

### Fotografia em Cores

Fotografia padrão em cores pode ser usada do avião, bem como em navios e na praia. O óleo normalmente tem de ser mais espesso do que 0,4 microns para que as fotos tenham resultado. Fotos tiradas com informações geográficas fornecidas pelo GPS possibilitam um melhor entendimento do comportamento de deslocamento da mancha de óleo, além de trazer facilidade para documentação. É comum cometer erros de interpretação, causados principalmente por algas, marés vermelha, sombra de nuvens e areias de coloração contrastantes.

Fotografia pode ser usada para prover um inventário das áreas poluídas, particularmente linhas de costa. Uma indicação da espessura da mancha pode ser obtida. Estudos mostram que o melhor ângulo para tirar fotos é o de cerca de 50 graus. Para tirar fotos de derrames de óleo deve ser usado, junto com a câmera fotográfica, um filme polarizante para atenuar a reflexão da superfície da água. Os melhores resultados são obtidos com tempo claro. Caso haja muitas nuvens, as fotografias podem não ter contraste suficiente.

O fotógrafo deverá tentar seguir as seguintes diretrizes:

- a. Tente tirar uma foto o mais verticalmente possível (cerca de 50 Graus).
- b. Use o tempo de exposição mais curto (1/250 ou mais rápido).
- c. Justaponha fotografias por cerca de 20%.
- d. Use filme colorido de alta velocidade (200 ou 400 ASA).
- e. Use um filtro polarizante para reduzir o brilho da superfície da água.
- f. Fotografias em maré baixa darão informações sobre os tipos de linha de praia.

### Sensor Infravermelho

Estes sistemas podem mostrar a extensão máxima de uma mancha de óleo, e alguma informação sobre espessura, desde que óleo de espessura fina aparece frio e manchas com espessuras mais grossas apareçam quentes. O sistema é usado da melhor forma em conjunção com um scanner UV e imagens visuais (Fingas & Brown, 1999).

Consiste em um sistema de detecção aérea, inclusive uma câmara com scanner infravermelho, equipamento de gravação e telemetria. Alguns sistemas podem prover, em tempo real, visto do bordo de um navio ou no solo, se a variação for compatível e o equipamento de recepção disposição. O princípio de operação depende muito de pequenas diferenças de temperaturas entre uma parte do mar e a outra. Bons resultados são, por isso, altamente dependentes de condições meteorológicas. Condições de neblina, nuvens baixas e mar revolto podem dar resultados muito ruins. Erros de interpretação são possíveis, como por exemplo, água fria no lastro de navios no verão, efluentes de água quente ou formações irregulares de nuvens.

No entanto, com um operador hábil e boa interpretação, resultados bons e exatos podem ser obtidos e confirmados por outros sistemas. Este sistema pode mostrar qual o melhor local para usar recolhedores e dispersantes. Este sistema também possui problemas com algas, áreas costeiras com afloramento de massas d'águas (ressurgência). Devido ao preço não ser muito alto, esta é a ferramenta mais usada para monitoramentos.

#### Sensor Ultravioleta

Um sensor detecta a radiação UV do sol refletida pelo óleo e dá uma estimativa exata da área do derramamento. Com a informação dos scanners infravermelho e ultravioleta, é possível obter uma estimativa exata do espalhamento de óleo. Este equipamento dá uma melhor visão espacial do acidente, mostrando até mesmo o brilho de prata dos derrames de óleo. O sistema UV somente funcionará durante à luz do dia e, melhor ainda, à luz do sol. Muitos erros são cometidos em áreas abrigadas do vento, quando o mar perde a rugosidade, aumentando assim a reflexão na presença de materiais biogênicos.

#### Radar

Pequenas ondulações produzem uma reflexão da energia do radar, quando temos uma mancha de óleo. Esta mancha de óleo diminui a rugosidade da superfície do mar, emitindo um sinal para o radar. Em locais abrigados, onde está recebendo água doce, em águas com gelo, óvos de peixes, florestas de algas, induz em erro de interpretação. Dependendo da altitude este sensor tem a vantagem de mostrar uma faixa linear de cerca de 30 km, bom para detecção. O radar é usado para avaliação da velocidade da corrente para predição da mancha.

## Radar SAR

Os dois tipos básicos de radar que podem ser usados para detectar derramamentos de óleo por sensoriamento remoto são o radar sintético de abertura (SAR) e o radar sintético de abertura lateral (SLAR). O último utiliza tecnologia mais antiga (Fingas and Brown, 1999), mas menos cara, que usa uma antena longa para conseguir a definição espacial. O SAR possui a definição espacial muito boa, é independente da escala, e o sistema possui um processamento eletrônico sofisticado. O SAR tem um alcance e uma definição bem maior do que o SLAR.

## Radar SLAR

Utiliza um radar de imagens (Figura 12), que transmite e recebe pulsos de energia na escala da faixa X.



**Figura 12** – Avião equipado com o sistema SLAR. (Autor: Mark Francis).

O radar recebe de volta um sinal que foi difundido, refratado e absorvido por objetos na água. Este sistema possui baixa resolução. O óleo abafa as ondas capilares sobre a água e dá muito pouca reflexão, de forma que a mancha aparece escura na tela. O sistema possui uma variação de 20 milhas em ambos os lados do avião, caso usado em sua altitude normal de operação de 7.000 a 20.000 pés. O sistema é usado para mostrar a extensão máxima da mancha. Pode operar durante o dia ou à noite e na maioria das condições de tempo, exceto ventanias. Não dá nenhuma indicação sobre espessura.

### Radiômetro de Microondas

Este sistema passivo mede a radiação natural de energia enviada ou refletida pelo meio ambiente. Este dispositivo detecta diferentes emissões de microondas. Bom para determinar onde está o óleo, o equipamento possibilita também ter idéia da espessura da camada de óleo. Este método apresenta maus resultados em campo. É particularmente bom na medição da espessura comparativa da mancha e da área de superfície. Por isso, dá uma boa indicação do volume de óleo. A área de varredura é pequena, sendo necessário voar lentamente, a uma baixa altitude, para a obtenção dos melhores resultados.

### Fluorescência a Laser

Este detector e dispositivo de medição emitem energia na faixa ultravioleta e recebe energia na faixa visível. É usado para dar uma indicação do tipo de óleo (pesado, médio ou leve) e a espessura da manchas. O equipamento fornece uma marca digital espectral do hidrocarboneto, que pode ser comparada com informações anteriormente conhecidas. Este equipamento consegue diferenciar materiais de origem biológicas do óleo, pois estes emitem outra faixa fluorescente. Este sistema detecta óleo no gelo, neve e mesmo quando está associado a detritos de origem biogênica, como algas marinhas. Pode operar durante o dia ou à noite, exceto sob condições de neblina ou chuva. A área de varredura é pequena, sendo necessário voar a baixas altitudes.

### Monitoramento por satélite

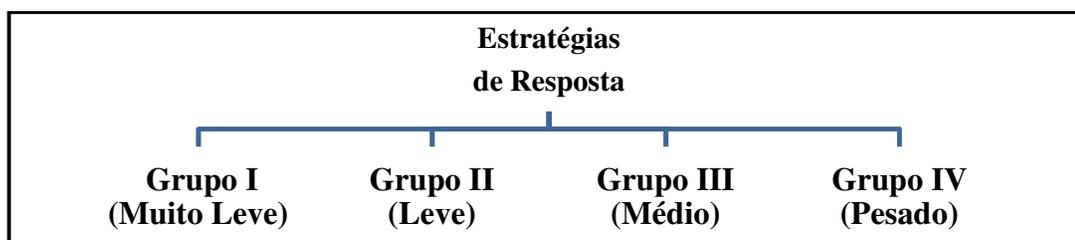
Este equipamento requer pessoal bastante qualificado e treinado para tratar imagens de manchas de óleo. Não se tem uma resposta em tempo rápido. É muito bom para documentação após o derrame de óleo. Pode levar muito tempo para que o satélite passe por cima da área da mancha de óleo, não pode haver nuvens, neblinas e fumaça, caso contrário o sistema não funcionará bem. O sistema não serve para rastreamento. O trabalho é facilitado quando já são conhecidas as coordenadas geográficas dos locais atingidos. Com o desenvolvimento tecnológico, o tempo para interpretação das imagens vem diminuindo. Computadores potentes processam os dados mais rapidamente. Este tipo de informação é muito importante para servir de documentação na fase pós-derrame.

## 7 RESULTADOS

A seguir são apresentadas as árvores de decisão a serem aplicadas em diferentes situações e/ou estágios da resposta a um acidente de derramamento de óleo no mar.

### 7.1 Árvores de Decisão para a escolha da melhor estratégia geral

Para a escolha da melhor estratégia deve-se saber qual o tipo de óleo derramado (Árvore 2), se existe risco de explosão, se iniciou o processo de intemperismo, saber o volume do óleo derramado, a espessura da mancha, onde aconteceu o derrame e se o local possui condições de navegabilidade e acessos. Deve-se considerar também a quantidade de resíduo que poderá ser gerado e o impacto que esta estratégia pode causar. Este trabalho baseará as estratégias de resposta nos quatro grupos de óleo que haviam sido apresentados anteriormente. (ITOPF, 2007).



Árvore 2 - Estratégia geral de resposta de acordo com o grupo de óleo.

#### 7.1.1 Estratégia geral de resposta a derramamentos de óleo do Grupo I

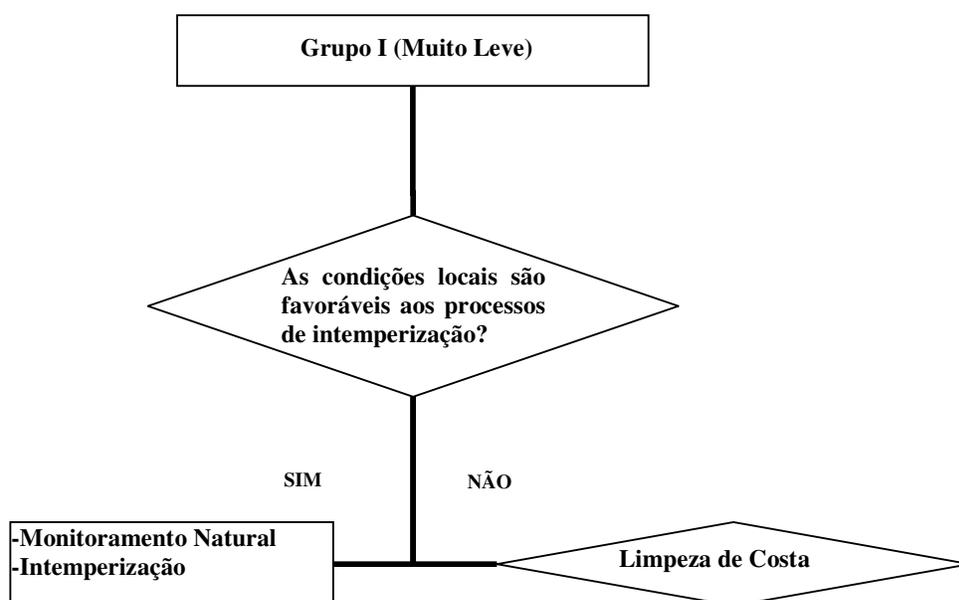
O Grupo I (Árvore 3) são óleos muito leves, altamente voláteis, de rápida degradação que gera a formação de pequena quantidade de mousses instáveis, espuma pouco densa e películas iridescentes. Geralmente os processos de intemperismo são fatores muito importantes na minimização dos impactos locais. A CONAMA 293 exige estratégias de resposta para cada situação e produto envolvido.

Os principais processos de intemperismo são a foto-oxidação, biodegradação, espalhamento, evaporação e dissolução e dispersão natural do óleo na coluna d'água. Em locais de clima mais quente, como em regiões tropicais, estes processos são mais intensos do que em regiões de clima temperado.

A resposta para este tipo de produto é muito perigosa, pois quando tentamos conter, o confinamento do produto tende a formar uma atmosfera explosiva. Por serem muito voláteis e de baixo ponto de fulgor (Flash Point), é aconselhável o não recolhimento.

Existem bombas de operação remota, acionadas por sistemas hidráulicos que trabalham imersas no óleo. Todo o equipamento de material para este tipo de trabalho deve ser intrinsecamente seguro, mas a possibilidade de recolhimento no campo, com embarcações e outros equipamentos, é muito arriscada, além de poderem formar nuvens de vapor ricas em hidrocarbonetos aromáticos, as quais poderiam ocasionar também problemas para a equipe de resposta.

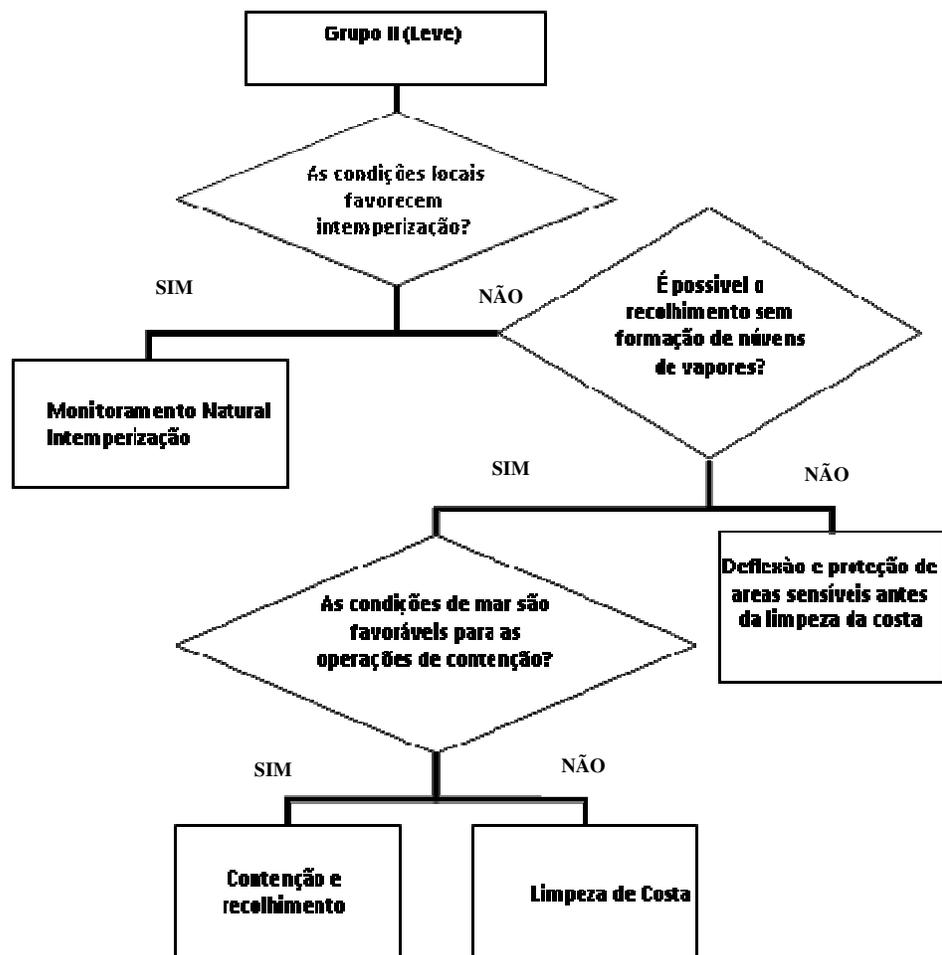
A aplicação de dispersantes não se faz necessária por serem muito leves e de fácil diluição e dispersão na coluna d'água. A aplicação de dispersantes somente estaria adicionando mais um produto químico ao ambiente.



**Árvore 3** - Árvore de Decisão para óleos do Grupo I.

### 7.1.2 Estratégia geral de resposta a derramamentos de óleo do Grupo II

Os óleos do Grupo II são óleos leves, voláteis, com tendência à formação de mousses estáveis e grande quantidade de espuma nos primeiros dias de intemperização. Devemos saber qual o ponto de fulgor (Flash Point) do produto derramado e verificar se está ou não havendo a formação de uma atmosfera explosiva, fazendo esta verificação com oxi-explosímetros. Muitas vezes temos a possibilidade somente de deflexão da mancha a fim de protegermos as áreas mais sensíveis. Temos também a possibilidade de contenção e recolhimento de acordo com as condições locais e, na pior das hipóteses, optamos por realizar a limpeza na costa.



**Árvore 4** - Árvore de Decisão para óleos do Grupo II

### 7.1.3 Estratégia geral de resposta a derramamentos de óleo do Grupo III

Os hidrocarbonetos dos Grupos III são óleos médios que tendem à formação de mousses densos e estáveis que, em condições meteorológicas e oceanográficas adversas se comportam como os do Grupo II e diante de calmaria e clima estável, persistem no ambiente e se degradam como os óleos do Grupo IV.

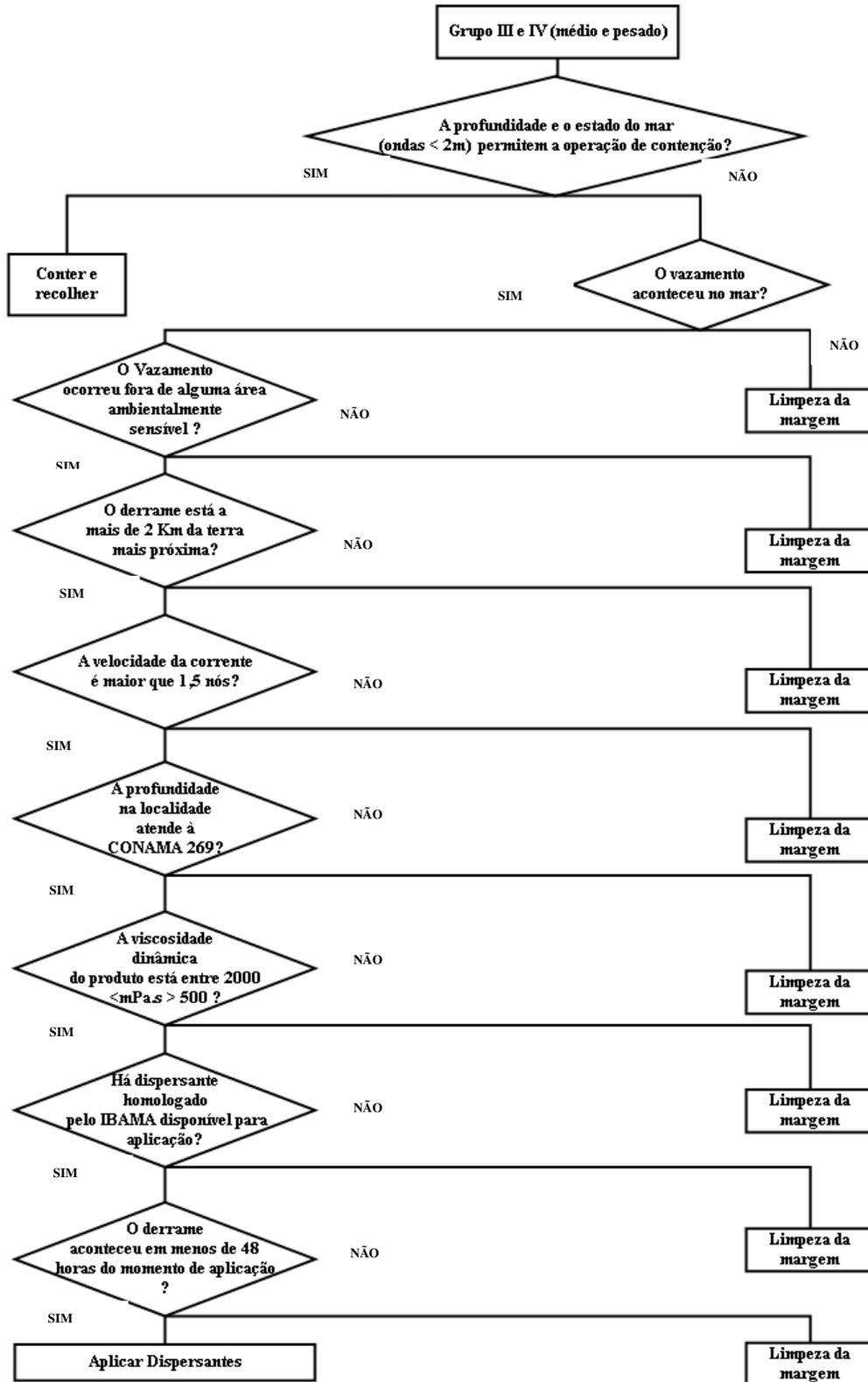
### 7.1.4 Estratégia geral de resposta a derramamentos de óleo do Grupo IV

Já os hidrocarbonetos do Grupo IV, são óleos pesados que tendem à formação de mousses densos e estáveis, que persistem no ambiente por mais de sete dias. O final do processo de intemperismo resulta em pelotas e placas densas.

Se o mar oferecer condições, devemos optar preferencialmente pela contenção e

recuperação, outra hipótese é o uso de dispersantes químicos desde que atendam todas as recomendações da resolução CONAMA 269. Quando o óleo chega em terra pode ser gerado uma quantidade de resíduos maior que 20 vezes o valor derramado, como observamos no vazamento do *Ericka* (ITOPF, 2001).

Estas escolhas de estratégia são momentos muito difíceis, pois estas decisões são de grande peso tanto econômico, quanto social e ambiental. Além disso há uma pressão muito grande dos órgãos de meio ambiente, mídia e governo. O ideal é que estas propostas de estratégias de resposta sejam testadas na localidade e avaliadas, se possível através de simulados.



Árvore 5 - Árvore de Decisão para estratégia geral de resposta: Derrames de óleos dos Grupos III e IV. (Fonte: Baseado na Resolução CONAMA 269, de 14/09/2000).

## **7.2 Árvores de decisão para a escolha do melhor método de limpeza costeira**

O petróleo pode impactar o entorno de águas costeiras, linhas litorais e habitats submersos (NOAA, 2000), pode também interromper as atividades de recreio, provocar dificuldades econômicas, perturbar a atividade comercial e pode ser muito caro limpar e recuperar áreas degradadas. A decisão de eliminá-lo ou não, onde, quando e como, afeta a cada uma destas consequências potenciais de um derrame de petróleo.

As decisões acertadas de limpeza dependem da informação precisa sobre os tipos de habitats afetados, o grau de contaminação, a localização e o provável comportamento do petróleo.

### **7.2.1 Gerenciamento de um projeto de limpeza e técnicas de limpeza empregadas**

A elaboração dos mapas de sensibilidade são atividades-chave do processo de planificação às contingências por derrame de óleos. Estes mapas aportam aos responsáveis da resposta a um derrame uma informação essencial, mostrando onde estão os distintos bens e recursos costeiros, e indicando, ao mesmo tempo, as áreas ecológicas sensíveis (IPIECA, 1996). Com estes mapas conheceremos o local e o tipo de limpeza que será empregado.

Muitas vezes, a única resposta aplicável em um derrame de óleo é esperar que o óleo chegue às áreas costeiras e se preparar para a realização de limpeza nos ambientes costeiros impactados. Muitas das formas de limpeza são eficientes na retirada do óleo do ambiente, mas causam grande impacto na comunidade biológica, muitas vezes pior que o do próprio petróleo. Portanto, a forma de limpeza também é um fator relevante ao se considerar o grau de impacto de um derrame de petróleo.

É dever do time de planejamento avisar aqueles que estão no comando de Resposta do Derramamento sobre a estratégia a ser adotada. A seleção dos métodos que serão usados é um estágio muito importante no ciclo da resposta. Tomar a decisão correta antecipadamente pode ser extremamente útil durante os estágios posteriores de limpeza.

É importante, portanto, que as pessoas certas sejam selecionadas para o time de planejamento. Elas precisam receber informações adequadas sobre o derramamento e as condições de tempo, além de ter conhecimento dos dados logísticos referentes à disponibilidade de pessoal, equipamento e material.

Baseado nessa informação e no conhecimento local, o Time terá condições de recomendar ao Comando Executivo a estratégia mais eficiente para minimizar o impacto ao meio ambiente e trazer a resposta para uma conclusão a tempo, de custo efetivo e de sucesso. O time de resposta precisa ter condições de justificar suas recomendações e esclarecer ao Comando as penalidades previstas, no caso de serem tomadas outras medidas.

Caso seja necessário realizar a limpeza da costa, escolhamos as principais feições geomorfológicas da Costa Brasileira. Para cada tipo ambiente será discutida qual das técnicas apresentadas seria a melhor opção de limpeza (Cooney, 1984).

Os métodos descritos para limpeza de praias, apresentados como disponíveis segundo American Petroleum Institute (API, 1985, NOAA, 2001, EXXON, 2002, Cantagallo *et al* 2007) são: limpeza manual, jateamento com água a temperatura ambiente, jateamento com água quente, vapor quente, absorventes, corte da vegetação, queima do óleo no local, remoção mecânica, inundação do sedimento, gelatinizantes, desengraxantes e biorremediação.

#### Limpeza Manual

Deve-se ter o maior cuidado possível em retirar menos possíveis os sedimentos não contaminados, além de animais e plantas sobreviventes. A remoção manual, com pás e ancinhos, por exemplo, é o adequado para pequenas áreas de contaminação com óleo nos locais onde o óleo não penetrou muito. É uma técnica útil para limpar o óleo irregular, nos casos onde o uso de máquinas pesadas está limitado, pelo acesso quando estas máquinas podem danificar a estrutura sedimentar local.

A limpeza deve ser realizada criteriosamente (Figura 13), retirando-se o mínimo de sedimento possível. Para isto devem-se utilizar rodos de madeira, ancinhos, pás, baldes, raspadores, enxadas. Comumente são necessários vários dias de limpeza.

As algas marinhas que foram contaminadas, assim como as bolas de piche, podem ser retiradas a mão com o auxílio de um rodo, rastelo ou um ancinho. As vantagens principais desta técnica aplicam-se a áreas de recreação e áreas de importância ecológica, onde o pisoteio pelos operários da limpeza poderia ser um impacto adicional às operações de limpeza. A seleção desta técnica de limpeza deverá levar em conta também os aspectos práticos.



**Figura 13** – Limpeza Manual (Foto: Mark Francis)

Todo o óleo recolhido deve ser retirado preferencialmente em tambores lacrados. Não se deve circular com veículos e máquinas pesadas em áreas fofas. Uma vez recolhida a maior parte do petróleo, o uso de absorventes, como turfa e palha, é de grande eficiência na limpeza final. Estado saturado, o produto deve ser recolhido manualmente. Em locais com grande quantidade de detritos, pode ocorrer a retirada manual, através de "puçás", para facilitar a remoção do óleo através de outro processo.

#### Jateamento com água a temperatura ambiente

O saturamento do solo com água a baixa pressão (<10 psi) permite que parte do óleo flutue para posterior recolhimento, mas o jateamento pode ser impactante, dependendo da pressão utilizada. Fluxos a altas pressões deslocam toda a comunidade biológica, agravando ainda mais o impacto biológico no ambiente atingido, além de empurrar o óleo para camadas mais profundas. O jateamento a baixa pressão com grandes volumes de água pode ser, eventualmente, benéfico se usado com cautela. Este pode ser eficiente em remover quantidades substanciais de óleo da vegetação onde a cobertura vegetal é relativamente estável e contínua.

O Jateamento a alta pressão pode ser muito prejudicial aos costões rochosos. As costas rochosas compreendem uma diversidade de habitat entre-marés, vulnerável aos óleos em

diferentes graus. Enquanto algumas espécies se limpam fácil e rapidamente por meio das forças naturais, outras podem reter o óleo em sub-habitats muito sensíveis que podem sofrer danos e necessitar muito tempo para se recuperarem. Ademais, no contexto mais amplo dos ecossistemas marinhos, as costas rochosas têm grande importância, e algumas proporcionam valiosos recursos às indústrias pesqueiras locais, ao turismo e à ecologia (IPIECA, 1995).

A lavagem com água corrente em locais atingidos é uma técnica aconselhável, já que não promove danos adicionais. Porém, esta técnica deve ser utilizada imediatamente após os locais terem sido atingidos. De outro modo, a mesma se mostrará ineficiente em retirar o óleo intemperizado e já aderido ao substrato.

Sempre devemos usar água com as mesmas características físico-químicas do local do derrame. Embora menos estressante, o jateamento a baixa pressão é uma técnica que também deve ser evitada, uma vez que o fluxo, ainda que mais suave, ocasiona desalojamento de espécies com menor poder de adesão ao substrato, além de provocar mortalidade de espécies mais frágeis.

O jato de alta pressão é particularmente adequado para área com sedimentos firmes e com declives suaves. O uso de baixa pressão de água a temperatura ambiente minimiza os danos à estrutura dos sedimentos e aos organismos. E de todos os modos, a erosão do sedimento é um problema que se deve controlar. Se for necessário, não deve-se usar o jato de alta pressão.

Como é de se esperar, o jateamento a alta pressão (entre 100-1000 psi) pode causar erosão, modificações no substrato, prejuízo físico para as plantas e fazer com que o óleo penetre ainda mais no sedimento. Alta-pressão é usada para remover óleo que aderiu ao substrato duro ou estruturas artificiais.

O spray de alta-pressão removerá óleos efetivamente viscosos. Se baixos volumes de água forem usados, são colocados absorventes diretamente debaixo da área de tratamento para recuperar óleo.

Devemos tomar cuidado para que o óleo não escoe para habitats sensíveis. Deve ser recuperado para prevenir a contaminação mais adiante de áreas adjacentes. O jato com água não deveria ser usado diretamente em plantas e animais. Quanto aos efeitos ambientais, serão

removidos todos os animais fixos e plantas na zona de “spray” direta, até mesmo quando for usada corretamente.

### Jateamento com Água Quente

Podemos chamar de águas quentes, as com temperaturas entre de 32°C e 77°C. Nesta temperatura, provavelmente o óleo não vai re-aderir à superfície dos sedimentos. Pode ser aplicado em superfícies sólidas e estruturas construídas pelos homens sem a presença de vida. Água quente pode matar animais e plantas, pois geralmente os organismos vivem adaptados à uma faixa de temperatura, salinidade e oxigenação. E se a contenção da área não for suficiente, este óleo jateado pode contaminar outras áreas.

A água quente pode reduzir a viscosidade do óleo, fazendo com que ele fique mais móvel e podendo penetrar mais profundamente no sedimento.

O jateamento pode ocasionar erosão em outras áreas, causando muitos prejuízos às vegetações. Em alguns derrames o uso de água quente a alta pressão foi aplicado como técnica de limpeza e provocou um impacto maior e períodos de recuperação mais longos para os organismos. A causa principal destes impactos foi a eliminação massiva das espécies de longos ciclos de vida, as quais necessitam muitos anos para voltar a se estabelecer. São preferíveis técnicas de limpeza que permitem retirar a maior parte do óleo visível sem provocar danos físicos ou químicos severos.

Nunca esta técnica deve ser usada para limpeza estética. Estas técnicas nem sempre resultam em uma melhora da recuperação do meio ambiente, porém os impactos não podem ser mensurados enquanto não houver sido realizada a tentativa de limpeza.

### Vapor Quente

A limpeza a vapor geralmente é feita com águas muito quentes, com temperaturas variando entre 77°C e 100°C. Este método é muito destrutivo e somente deveria ser aplicado em locais onde não existe nenhuma comunidade biológica, porque os efeitos desta técnica são devastadores, podendo ocasionar a morte completa de toda uma comunidade biológica e a taxa de recuperação é anulada por outros fatores.

Seu objetivo é em pequena área da costa eliminar manchas de óleo em substratos

sólidos ou em estruturas construídas pelo homem, esta técnica deve ser aplicada com muito cuidado para que o óleo desprendido possa ser contido e removido.

Esta técnica não pode ser usada para fim estético, não pode ser usada onde existem organismos presentes e geralmente são usados absorventes, ou alguns outros tipos de recolhedor quando o óleo é desprendido.

### Absorventes

A utilização de materiais absorventes para remoção de óleo normalmente é realizada de forma manual. Os absorventes podem ser definidos como materiais com capacidade para recolher óleo através da absorção e/ou adsorção.

Existem três tipos básicos de absorventes:

- Materiais orgânicos naturais, como cortiça, palha, feno, bagaço de cana-de-açúcar, casca de coco, turfa;
- Materiais minerais, como vermiculita, perlita e cinza vulcânica;
- Absorvente orgânico sintético, como espuma de poliuretano e fibras de polipropileno.

Os absorventes orgânicos sintéticos normalmente apresentam a maior capacidade para retenção de óleo e podem ser obtidos em uma variedade de formas, incluindo fibras, almofadas e lâminas. Alguns absorventes, especialmente os naturais, podem ser tratados com agentes oleofílicos ou pelo aquecimento controlado, o que resulta em uma melhora na capacidade do material, preferencialmente umedecido pelo óleo ao invés da água.

Em geral, o uso de absorventes é somente apropriado durante os estágios finais de limpeza em ambientes costeiros ou para auxiliar na remoção de filmes finos de óleo em locais de difícil acesso.

Devemos tentar recuperar os absorventes, a fim de minimizarmos os volumes de resíduos e o custo da operação. Se estes absorventes forem usados para óleos leves é muito fácil a recuperação, mas a reutilização para compostos mais pesados é muito difícil, principalmente se o óleo já perdeu os compostos mais leves. A eficiência do absorvente dependerá do tipo de material usado na sua composição e da abertura da malha do absorvente.

O uso de barreiras, mantas absorventes e materiais particulados foram observados em diversos ambientes. Esses materiais absorveram o óleo flutuante, reduzindo o potencial de absorção e também a probabilidade de retenção do óleo no sedimento.

Os maiores impactos aos seres vivos se referem à possibilidade de ingestão e sufocação por conta destes materiais, principalmente os absorventes granulados. Geralmente absorventes sintéticos demoram muito tempo ou não se degradam no meio ambiente.

### Corte da Vegetação

O corte pode ser usado quando o risco de contaminação da vida selvagem for maior que o valor da vegetação em questão, em locais onde existem muitos animais, principalmente em locais de ninhos. As operações devem ser monitoradas para minimizar o grau de destruição da raiz e diminuição da penetração do óleo nos sedimentos. Cortando só a porção superficial das plantas impregnadas com óleo e conservando o restante da sua estrutura, possivelmente minimizam os impactos nas plantas.

O corte de plantas cobertas de óleo ao nível do sedimento é uma técnica de limpeza que acarreta destruição física direta dos tecidos das plantas. Isto reduz severamente a quantidade do tecido fotossintético, exceto em tipos de vegetações que, durante determinado tempo apresenta morte e rebrotamento posterior na porção aérea das plantas. No momento do corte, as plantas ficam mais expostas às substâncias tóxicas do óleo, favorecendo a sua contaminação, e diminuindo assim sua capacidade imune.

O corte na base da planta favorece a penetração do óleo no substrato, além da própria morte da planta, sendo portanto, desaconselhável. Áreas onde as plantas foram removidas ou pisoteadas favorecem a erosão.

### Queima do óleo no local

A queima de óleo e resíduos oleosos no próprio local não deve ser praticada, somente se houver uma liberação do órgão ambiental competente. Vários fatores influenciam o processo decisório da queima, tais quais as estações do ano, o tipo de vegetação, a riqueza de espécies e o nível de água no ambiente.

Caso seja necessária esta queima, deve haver um local controlado e sem possibilidades

de explosão. Óleos e resíduos com mais de 30 % de água são muito difíceis de serem queimados. A queima de óleos mais pesados tem que ser sustentada com a queima com um óleo mais leve. No fim do processo, é gerado um resíduo de difícil disposição por conta da queima imperfeita.

O calor produzido pela queima impacta todo o sedimento devido ao aumento da temperatura, diminuindo toda a produtividade primária. Em áreas úmidas, o efeito deste calor irradiado é minimizado e em áreas glaciais, esta técnica se mostra muito eficaz. Outro impacto considerável é a fumaça negra que pode afetar principalmente as populações de aves e as comunidades próximas.

A queima é, às vezes, um método efetivo de remoção de óleo e da vegetação de marismas contaminadas por óleo, sem a promoção dos danos do pisoteio. Algumas espécies de plantas podem resistir à queima ocasional, pois, durante o inverno, a porção aérea da planta seca, rebrotando mais tarde. Neste período, a queima pode ser efetuada sem prejuízo da porção da planta queimada e pode estimular seu rebrotamento. Contudo, em qualquer outra estação não é recomendada a queima.

#### Remoção Mecânica

A remoção mecânica (Figura 14) é um método geralmente empregado em margens de rios e lagoas, nos quais a contaminação é extensa, porém a penetração não é muito profunda. Normalmente usam-se máquinas niveladoras para retirar a capa da superfície de areia contaminada, mas nunca esta capa pode ser mais profunda que a profundidade da penetração do óleo. A areia contaminada com óleo pode ser recolhida com veículos de carga e devemos ter cuidado para não removermos sedimento desnecessariamente porque aumentam os problemas de disposição deste resíduo. A remoção rápida do sedimento se justifica quando existem considerações em curto prazo, como a necessidade de limpar uma área industrial ou de atividade turística, ou pela importância de restabelecer rapidamente as atividades socioeconômicas.

Veículos pesados podem ocasionar uma compactação do sedimento, podendo levar inúmeros organismos à morte por esmagamento, e o tráfego de veículos deve ser preferencialmente realizado nas partes mais secas do ambiente.



**Figura 14** – Limpeza Mecânica (Foto: Handerson Lanzillotta).

#### Inundação do sedimento

Uma mangueira perfurada é colocada no local da contaminação com o objetivo de saturar o sedimento com água, fazendo com que o óleo flutue e qualquer óleo libertado deve ser recolhido imediatamente para que não haja uma contaminação de outras áreas.

Esta água é bombeada a temperatura ambiente a baixa pressão. Em sedimentos porosos, fluxos de água pelo substrato, por diferença de densidade, facilmente empurram o óleo solto para superfície. A viscosidade do óleo influenciará o sucesso da operação.

Em óleos bastante viscosos, ou que não se aderiram muito ao substrato, esta técnica pode ser bastante útil. Este método é frequentemente usado com outras técnicas conjugadas mas para sedimentos lamosos e argilosos esta técnica não é viável.

O habitat pode ser perturbado fisicamente pelo tráfego durante as operações e estes ambientes podem ser sufocados por sedimentos lavados. Se métodos de retenção não forem

eficazes, o óleo pode contaminar sedimentos em áreas adjacentes. Inundação pode causar perda de sedimento e erosão do contorno da costa e vegetação rasteira.

### Gelatinizante

O gelatinizante transforma o óleo do estado líquido para o sólido. Polímeros são aplicados na taxa de 10 a 45%, solidificando o óleo em minutos.

A vantagem do uso deste material é o impedimento da entrada do óleo na fenda de rochas, nos sedimentos e impedindo a sua propagação. O produto pode não solidificar completamente a menos que esteja bem misturado com o óleo, não sendo usados geralmente para óleos muito viscosos.

Estes produtos são insolúveis e possuem muito baixa toxicidade no meio aquático. O óleo que solidificou que não foi recolhido pode ter impacto mais longo por causa de taxas de intemperização mais lentas. Perturbação física no habitat é muito provável durante aplicação e recuperação.

Se o produto for bem aplicado pode haver uma redução do volume de água recolhida durante a operação, e o resíduo solidificado pode ser destinado mais facilmente. Alguns países aceitam esta disposição em aterros sanitários, sendo necessário consultar o órgão ambiental.

### Desengraxantes

O uso deste recurso deve ter aprovação do órgão ambiental. Esta técnica tem por objetivo aumentar a eficiência de remoção de óleo de substratos contaminados. O desengraxante possui um papel muito similar ao dos dispersantes, alguns são pouco tóxicos, mas o problema é que biodisponibilizam o óleo no ambiente.

A intenção desta técnica é diminuir a pressão e temperatura da água no momento da limpeza. Alguns agentes dispersarão o óleo para fora da praia. O desengraxante quebra a estrutura molecular do hidrocarboneto.

Quando o produto não dispersar o óleo na coluna de água, o óleo libertado deve ser recuperado na superfície da água. O uso deste material deve ser restrito próximo a áreas de grande produtividade e com presença de comunidades biológicas.

A toxicidade e efeitos da dispersão do óleo tratado variam amplamente entre os produtos. A seleção de um produto deveria considerar sua toxicidade, sendo que muitos destes produtos apresentam laudos de biodegradabilidade e seus efeitos toxicológicos nos organismos.

#### Biorremediação x Bioaugmentação

Estas técnicas devem ser aplicadas com aprovação do órgão ambiental competente. A biorremediação consiste na aplicação de bactérias óleo-degradantes ou nutrientes para aumentar o desarranjo biológico natural de óleo. Esta técnica gerou interesse considerável por mais de duas décadas. Não é satisfatório para uso em grandes volumes de óleo, mas é bastante útil na limpeza final e na recuperação de ambientes degradados.

A adição de nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) é necessário para estimular o crescimento microbiano e esta técnica possui grande potencial de recuperação de ambientes contaminados. Quando a concentração de óleos for superior a 10.000 mg/kg, a biodegradação apresenta bons resultados. É necessário também haver, em grandes quantidades, a presença de água intersticial e de oxigênio. Os nutrientes vão acelerar o crescimento das bactérias que decompõem o óleo.

Bioremediadores podem ser aplicados em qualquer tipo de ambientes costeiros onde o acesso é permitido, e os nutrientes do solo são deficientes. São mais efetivos em óleos crus médios e óleos combustíveis. A presença de asfaltenos tende a inibir uma biodegradação rápida e são pouco efetivos também na presença de óleos leves, pois estes se evaporam rapidamente do ambiente contaminado.

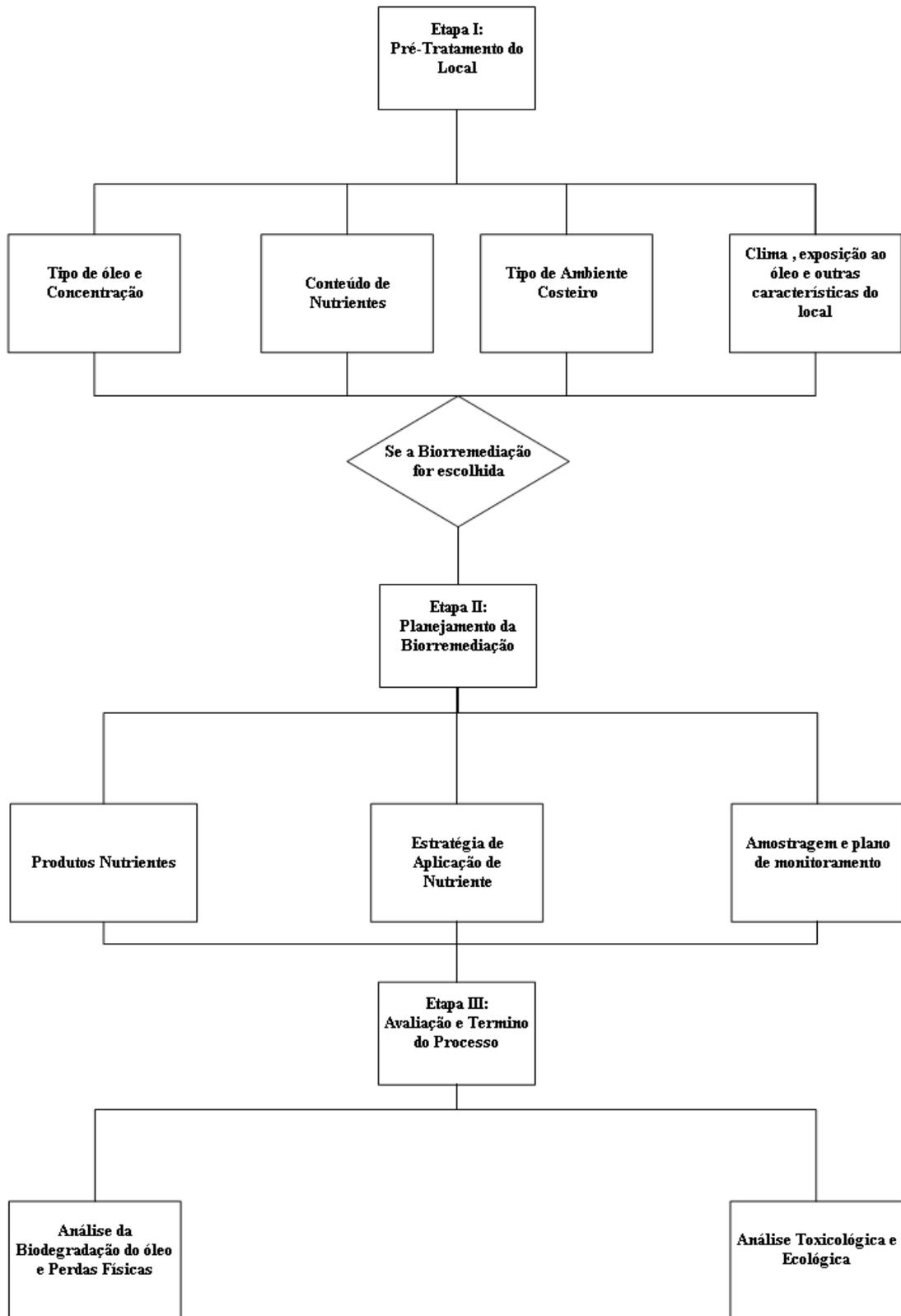
Alguns compostos como amônia podem ser tóxicos ao ambiente aquático, os usos em alguns ecossistemas podem alterar o equilíbrio do sistema e levá-lo a eutrofização (excesso de nutrientes) e ocasionar impactos adversos ao meio ambiente. Após a aplicação de biorremediadores, os ambientes, preferencialmente, devem ser monitorados. A figura 15 ilustra as etapas para implementação da biorremediação.

A biorremediação também tem sido utilizada para tratamento de borra oleosa gerada em etapas do processo de refino do petróleo (KRIPSALU et al 2007); KRIPSALU et al, 2008)

e no tratamento de solos contaminados após acidentes de derrame de óleo (OLIVEIRA et al, 2007).

De forma sucinta, a biorremediação é a otimização da biodegradação que ocorre naturalmente. Tal aceleração pode ser promovida através de duas estratégias básicas ou variações das mesmas: (1) fertilização (adição de nutrientes) e; (2) inoculação ou augmentation (adição de microorganismos). Tal intervenção é geralmente necessária para superar condições ambientais limitantes que impedem a biodegradação. As etapas que compõem uma ação de biorremediação após a ocorrência de um derramamento de óleo no mar são:

- Identificação dos micróbios capazes de degradar os hidrocarbonetos de petróleo;
- Necessidades nutricionais desses consórcios de micróbios, tais como carbono, nitrogênio e fósforo;
- Oxigênio dissolvido e temperatura da água;
- Rotas metabólicas de decomposição das frações de óleo, incluindo os compostos alifáticos, aromáticos e o asfalteno.



**Figura 15** – Fluxograma para Biorremediação

## Retrabalhamento do Substrato

O sedimento oleoso é movido para área de quebras das ondas, fazendo com que o atrito entre os grãos promova a limpeza. Essa técnica pode usada apenas para pequenas concentrações de óleo no sedimento.

O substrato oleoso pode ser movido manualmente ou por máquinas para a zona de surf, e o sedimento pode ser misturado nas camadas sub-superficiais e camadas mais profundas do sedimento (ASTM, 2004). Esta técnica pode ser aplicada a qualquer substrato que suporte equipamentos mecânicos ou tráfego de pessoas. Esta técnica não deve ser usada próxima a áreas sensíveis. O óleo liberado pode recontaminar áreas próximas e o retrabalhamento do sedimento impede a fixação dos organismos bentônicos.

## Dragagem

Quando o óleo afunda, existem poucos recursos para a remoção do mesmo. A dragagem do fundo é capaz de remover o sedimento contaminado sendo, portanto, eficiente como técnica de descontaminação. Porém, causam muitos danos à comunidade biológica já afetada pelo óleo. Grande parte da comunidade biológica pode ser retirada juntamente com o sedimento e por isso a dragagem deve ser evitada.

Em determinados locais abrigados, uma vez contaminado o ambiente, poderia levar muito tempo para voltar a ser um ambiente saudável, a dragagem neste caso poderia ser considerada, sendo o sedimento contaminado retirado, possibilitando um repovoamento do ambiente. O maior de todos os problemas é o local de deposição destes resíduos contaminados.

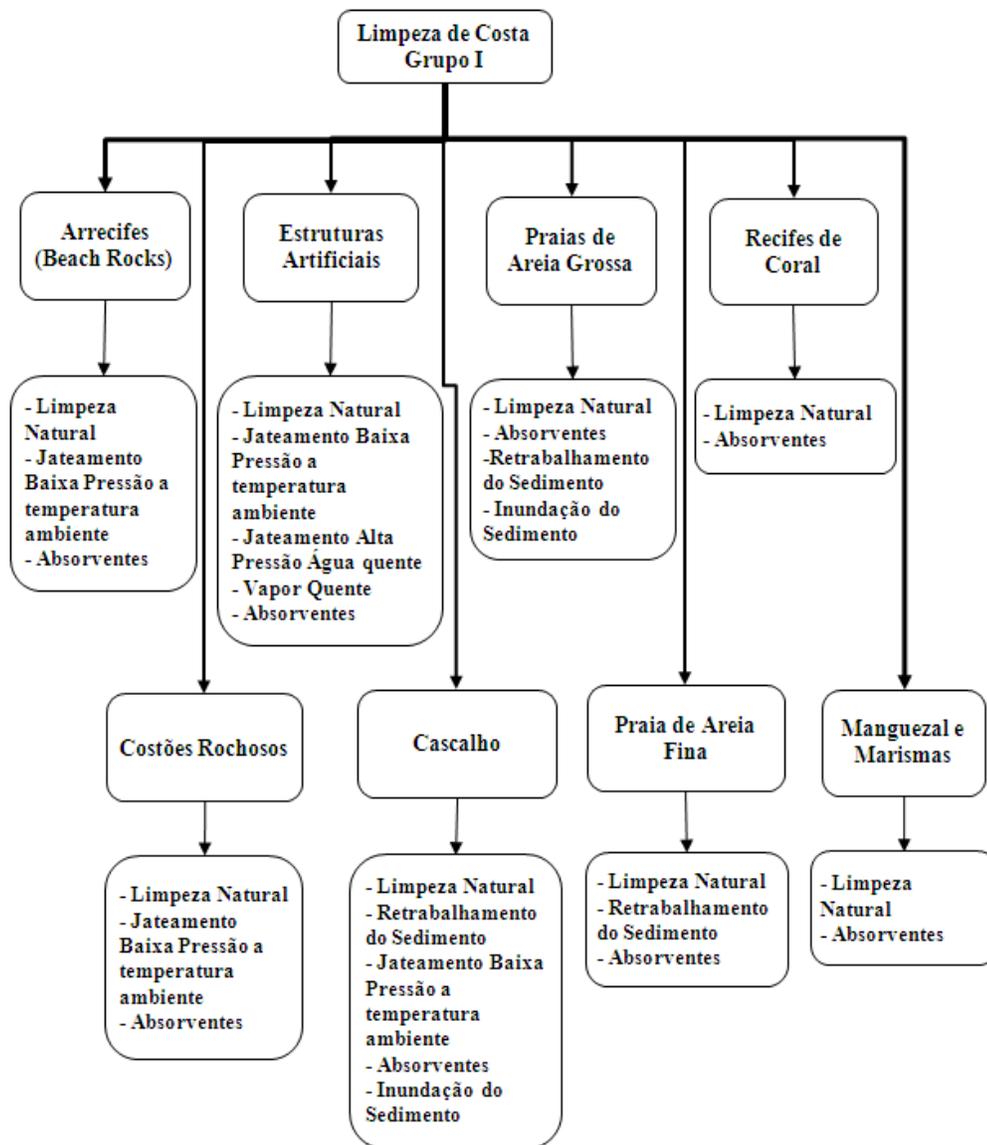
## Limpeza natural

Este procedimento é bastante eficiente em águas oceânicas, pois o óleo é submetido aos processos naturais de degradação como dispersão, dissolução, evaporação, biodegradação, fotoxidação, etc (Fingas *et al*, 1979; OCIMF, 1980). É claro que o processo natural de degradação por exposição às intempéries eliminará o óleo rapidamente das áreas costeiras e que provavelmente a recuperação se complete em alguns poucos anos (Kerabrun & Parker, 1998). Portanto, deve-se esperar que a resposta da limpeza deve esperar que se reduza significativamente o tempo de recuperação do ambiente, para que assim sejam minimizados também as preocupações econômicas, turísticas e principalmente os efeitos à vida selvagem e

evitar problemas provenientes de queixas e reclamações das partes afetadas. A escolha de técnica ao alcance e a sua aplicação devem ser escolhidas com muito critério a fim de que todos os impactos sejam minimizados.

### 7.2.2 Árvores de Decisão para a escolha do melhor método de limpeza costeira para derramamentos de óleo Grupo I.

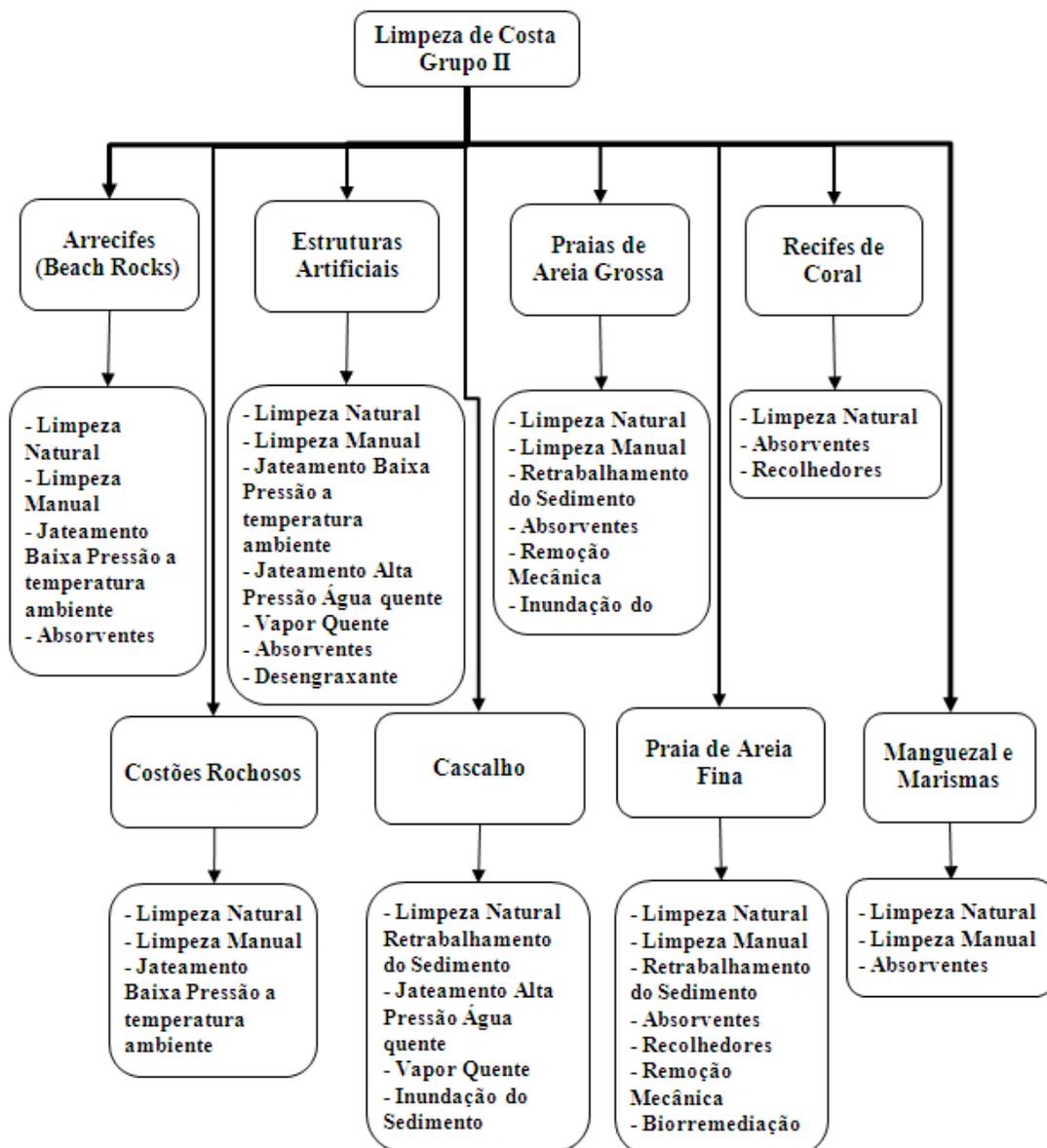
Grupo I: Estes óleos são muito leves e evapora muito rapidamente, a atenuação natural é o método mais apropriado em muitos casos. Devido a grande toxicidade uma grande mortalidade de moluscos e invertebrados é esperada em áreas de lama que ficam expostas na maré baixa. As opções de limpeza para o Grupo I é mostrada na Árvore 6.



Árvore 6 - Árvore de Decisão para limpeza de costa – Derrames de Óleo Grupo I.

7.2.3 Árvore de Decisão para a escolha do melhor método de limpeza costeira para derramamentos de óleos do Grupo II

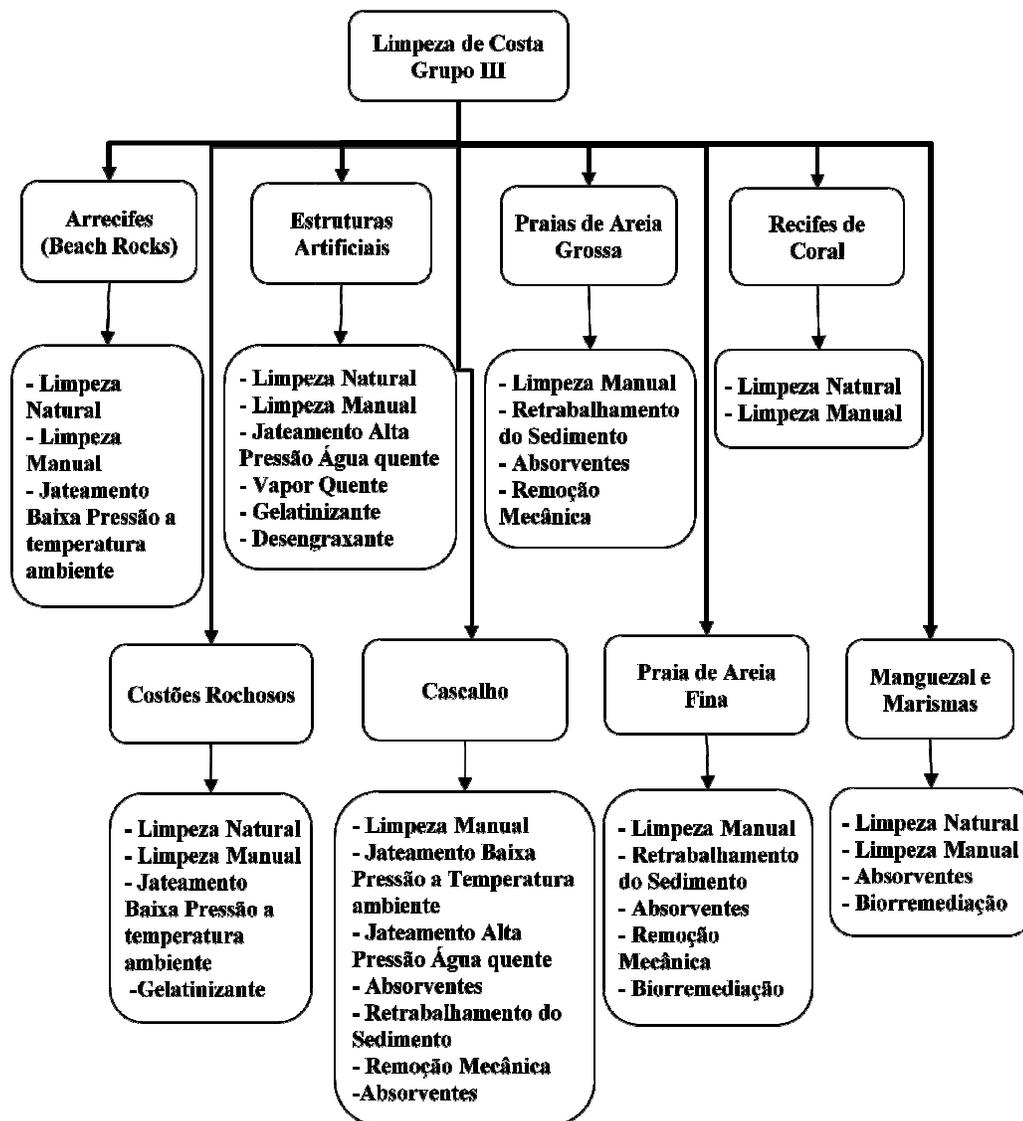
Grupo II: Óleos leves apresentam com atenuação natural e se degradam de forma mais lenta que os óleos muito leves. Entretanto a limpeza manual é geralmente a melhor opção para remover óleo rapidamente. Em regiões tropicais, a evaporação é geralmente muito alta, resultando em menos limpeza manual, e diversos métodos existentes podem ser usados. De acordo com as condições ambientais, este tipo de óleo pode comportar-se como do Grupo III principalmente quando chegam em terra. As opções de limpeza para áreas costeiras propostas para óleos do Grupo II são mostradas na Árvore 7.



Árvore 7 - Árvore de Decisão para limpeza de costa – Derrames de Óleo Grupo II.

7.2.4 Árvore de Decisão para a escolha do melhor método de limpeza costeira para derramamentos de óleos do Grupo III

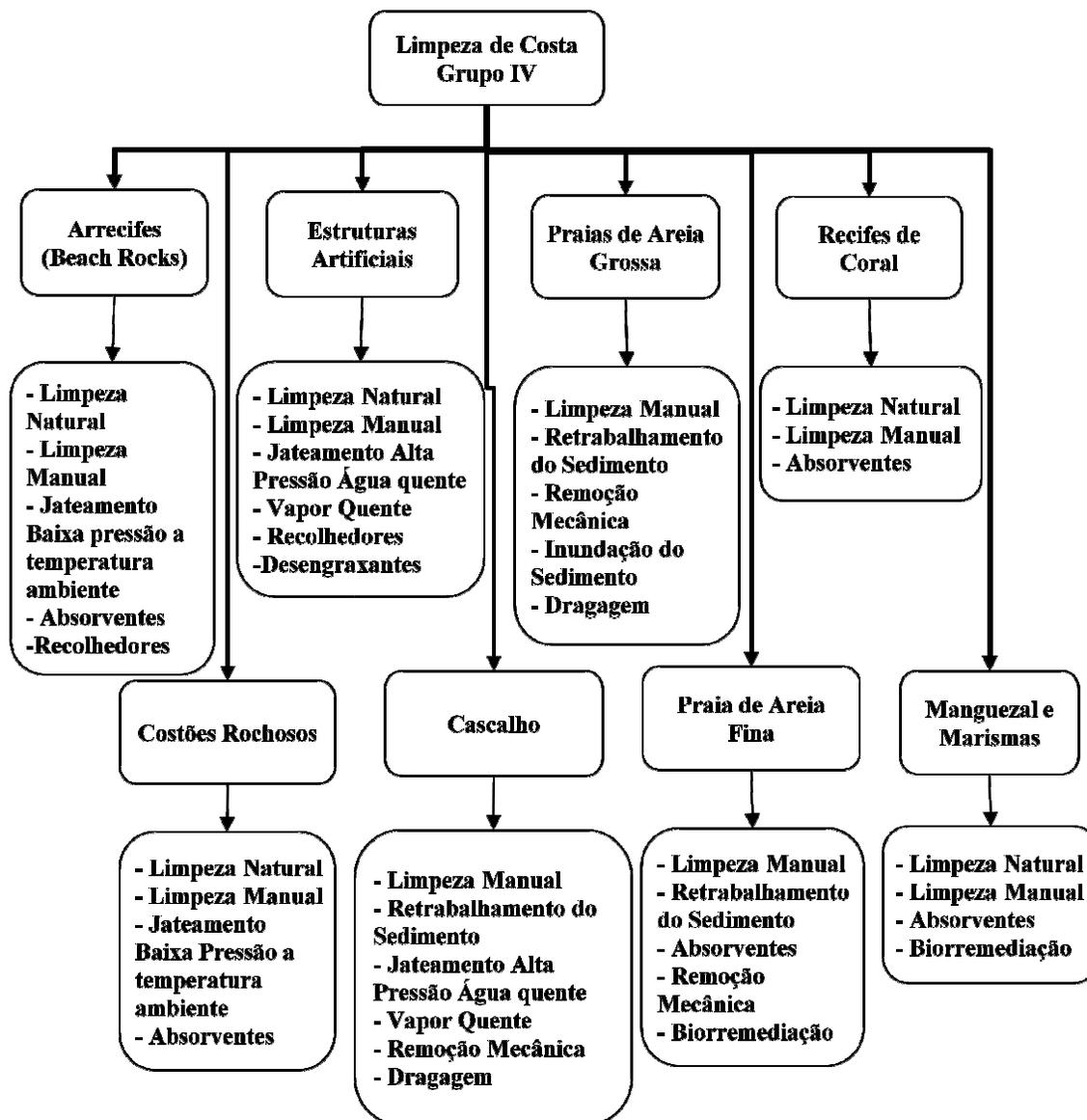
Grupo III: Muitas técnicas de limpeza mencionadas neste texto são apropriadas para este tipo de óleo, devido a pouca evaporação. Dependendo da quantidade de asfaltenos um óleo complexo com alto peso molecular pode ser formado. Óleos do tipo III podem emulsionar, tornando-se muito persistentes. Durante estágios adiantados de um derramamento do óleo ou se um escape contínuo estiver ocorrendo, dependendo da local e da época do ano, dispersantes podem ser usados no mar para reduzir os impactos litorais. Se o óleo chegar às regiões costeiras pode intemperizar e pode passar a se comportar como óleo do grupo IV. As opções de limpeza costeira propostas para o grupo do óleo III são mostradas na Árvore 8.



Árvore 8 - Árvore de Decisão para limpeza de costa – Derrames de Óleo Grupo III.

7.2.5 Árvore de Decisão para a escolha do melhor método de limpeza costeira para derramamentos de óleos do Grupo IV

Grupo IV: Os óleos pesados, devida à persistência elevada, podem permanecer no ambiente por muitos anos se nenhum método eficaz de limpeza for aplicado. Estes óleos têm um efeito sufocante, recobrando plantas, e dependendo da espécie, pode impedir os processos respiratórios e de fotossíntese. Pequenos organismos também podem ser recobertos, tendo por resultado um impedimento da respiração e um aumento da temperatura corporal. As opções de limpeza da costa propostas para o grupo IV são mostradas na árvore 9.



Árvore 9 - Árvore de Decisão para limpeza de costa – Derrames de Óleo Grupo IV.

### 7.3 Barreiras

A barreira é amarrada em uma configuração particular, isto é, J, U, V ou W, em uma posição onde se saiba que o óleo está flutuando e pela operação de um barco/navio em cada extremidade da barreira. Tal sistema normalmente só é possível onde existir uma faixa adequada para navegação.

Uma parte essencial deste sistema é um meio de remover o óleo da área cercada pela barreira. Isto pode ser por um recolhedor. Em alguns sistemas, os recolhedores são incorporados na própria barreira, isto é, a barreira possui um sistema de recolhimento por vertedouro.

Barreiras são usadas para evitar o alastramento do óleo sobre a superfície da água antes de ser recolhido. Existe uma larga variedade de situações onde isto é desejável. Por exemplo, na origem do derramamento, para localizar o efeito do derramamento do óleo, onde ele estiver acumulado em pequenas baías ou enseadas, em praias, remansos, bancos de areia, rios ou onde estiver preso.

As situações e formas de onde e como as barreiras podem ser usadas são muitas e variadas. No entanto, antes que uma barreira seja usada, é essencial que uma total consideração seja dada sobre como o óleo pode ser coletado. Acesso adequado por terra ou por mar para empregar homens, barcos e equipamento é essencial. É importante ter âncoras nas barreiras para mantê-las em posição e evitar que sejam carregadas para a praia, contrarochedos ou em margens cobertas de cracas.

As barreiras de contenção acumulam o óleo e evitam que este se espalhe, facilitando o recolhimento. Uma barreira bem utilizada é o primeiro grande passo para o sucesso de uma operação. A instalação e a manutenção de barreiras necessitam de equipes especializadas e treinadas. Uma pequena movimentação de uma barreira em um rio para realizar uma área de sacrifício pode ser uma atividade muito difícil, dependendo da velocidade da corrente.

As barreiras geralmente são o primeiro mecanismo de resposta a um derrame de óleo. Seu uso pode ser para conter, defletir ou proteger/amenizar os efeitos do óleo em áreas sensíveis. Novas tecnologias permitem ainda que as barreiras resistam à queima do óleo. Alguns modelos permitem ser rebocados a até 5 nós de velocidade. As barreiras possuem

variadas formas, tamanhos e são confeccionadas por diferentes tipos de materiais, de acordo com o seu uso.

As pessoas responsáveis por selecionar e fazer uso das barreiras devem entender as suas funções, saber exatamente cada tipo de barreira, onde mais elas se adequam. Devem conhecer também sobre condições de mar e de tempo, durabilidade, formas de armazenamento, transporte e capacidade de contenção. Operações com barreiras requerem conhecimentos sobre marinharia, uso de Towbars, âncoras, bóias de arinque e materiais-acessórios.

A capacidade efetiva de resposta aos derramamentos de óleo é uma combinação de quatro fatores principais:

- Rapidez e eficiência no acionamento da equipe de atendimento;
- Quantidade, disponibilidade e aplicabilidade de equipamentos para as ações de combate;
- Quantidade e disponibilidade de pessoas treinadas para realizar o trabalho;
- Condições meteorológicas.

As circunstâncias nas quais se justifica a aplicação de uma barreira são apresentadas na Árvore 10.



**Árvore 10** - Ambientes nos quais as barreiras podem ser aplicadas.

### 7.3.1 Partes de uma barreira e acessórios operacionais

Barreiras flutuantes para a coleta do óleo ou para evitar que ele se alastre podem ser obtidas em uma larga escala de formas e tamanhos. A maioria das barreiras pode ser divididas nas seguintes peças e componentes (Anexo I):

- Flutuador: Pode ser rígido ou flexível e tem a finalidade de manter a orientação correta do

equipamento sobre a água, fornecendo borda livre para minimizar a fuga do óleo sobre a barreira. Como flutuador, utiliza ar, espumas plásticas, cortiças, etc. Destinado a manter a barreira flutuando, o ideal é assegurar que a barreira permaneça flutuante, mesmo sob alguma carga ou tração.

- Borda livre: Denomina-se borda livre a altura da linha d'água ao topo da barreira.
- Saia: Porção contínua abaixo do flutuador, tem a finalidade de conter o óleo que tende a passar por baixo da barreira. Denomina-se calado a altura contada da linha d'água ao limite inferior da saia.
- Lastro: Tem a finalidade de manter a barreira na posição perpendicular à superfície do mar. Para tanto, pode-se utilizar correntes, cabos de aço, pesos metálicos, água.
- Dispositivo Longitudinal de Força: Para suportar carga criada por correntes, vento, reboque e seu posicionamento, sendo geralmente constituído por corrente ou cabo de aço. Tem como função absorver a maioria das forças que são exercidas sobre as barreiras.
- Conector: Dispositivo do tipo engate rápido, que permite a conexão de tantos lances de barreira entre si quantos forem necessários. No Brasil é usado o padrão ASTM.
- Pontos de Ancoragem: São locais adequados para a amarração de cabos de âncora e servem para manter uma determinada configuração da barreira na água ou em áreas costeiras.
- Âncoras: Servem para manter as barreiras na posição desejada. Dentre inúmeros tipos, as mais usadas em operações de combate a derrames de são do tipo Bruce (Lama) e Danforth (areia). A quantidade de cabo para âncora deve ser de 5 x a profundidade local. Ex: Se vamos ancorar uma barreira em uma profundidade de 8m, iremos necessitar de 40 m de cabo.
- Cabos: Geralmente são usados cabos de seda trançados.
- Bóias de arinque: Como acessório para a âncora, devemos usá-la no momento de retirar a âncora da água. Devemos usar a quantidade de cabo de 1,5 x a profundidade local. Com este acessório recolheremos a âncora sem esforço.

### 7.3.2 Tipos de barreira e eventuais falhas

#### -Barreiras Improvisadas

Se no momento de um derramamento de óleo a equipe não dispuser de recursos

para o combate, vale improvisar (ANEXO 2) tábuas, sacos plásticos, bambus, telas (palha gaxeta), barreiras de pedras, areia, cascalho ou canaletas. Devemos lembrar que o nosso objetivo é não deixar que o óleo se espalhe.

#### -Barreiras Tipo Cerca

As barreiras de cerca são formadas por material rígido ou semi-rígido, para reter o óleo flutuante na água. Têm a vantagem de possuir resistência à abrasão, serem de fácil manuseio, limpeza e armazenamento, além de alta confiabilidade. Como desvantagens apresentam pouca estabilidade sob fortes ventos e correnteza, pouca flexibilidade para reboque, baixa eficiência em ondas e necessitam de reforçadores para não desgastar ou quebrar.

#### -Barreiras Tipo Cortina

As barreiras de cortina possuem a vantagem de ser relativamente compactas, terem boa maleabilidade para reboque e instalação e de serem bem eficientes em mar encapelado. Por outro lado, apresentam como desvantagem a sua pouca resistência à abrasão, problemas de armazenamento devido ao seu volume e dificuldades no manuseio e limpeza após o uso. Têm uma saia flexível mantida por lastro de correntes ou cabos na sua extremidade inferior.

A barreira tipo cortina com flutuador sólido é constituída por câmaras cheias com poliuretano, poliestireno e cortiça, que asseguram a flutuabilidade. Apresenta grande confiabilidade e eficiência quando rebocada, além de fácil manuseio, mas possui como inconveniente o grande volume e pouca flexibilidade horizontal em mares ondulados. Já as barreiras desse tipo infláveis são aquelas cujo elemento de flutuação são câmaras infladas com ar. Como vantagens, são facilmente armazenadas manuseadas e eficientes. Têm, entretanto, baixa confiabilidade. As barreiras são normalmente manufaturadas em tecido resistente (Trevira), sendo revestidas com neoprene, poliuretano ou PVC. Esse material normalmente confere às barreiras resistência à tração.

#### *Técnicas de contenção*

##### -Cercos em “V”:

Duas embarcações ou âncoras seguram as extremidades da barreira, enquanto que no seu vértice tem um recolhedor acoplado. Todo óleo é direcionado para este recolhedor.

-Cercos em “J”:

Apenas duas embarcações participam da operação (Figura 16) (ANEXO 3). A mesma embarcação que segura uma das extremidades da barreira também recolhe e armazena o óleo, geralmente esta configuração é usada em mar aberto.

-Cercos em “U”:

Três embarcações participam da operação, duas embarcações seguram as extremidades da barreira, usadas geralmente para barreiras costeiras (ANEXO V). Após a configuração estar pronta, uma terceira embarcação realizará a coleta do óleo.

-Proteção:

Apenas deflete/ desvia o óleo, ou impede a entrada do mesmo em um manguezal ou marina e etc. Muitas vezes para esta proteção é usada barreira de assentamento (ANEXO VI).



**Figura 16** – Cercos em J (Foto: Mark Francis)

-Recolhimento Dinâmico:

É usada apenas uma embarcação. Sistema de barreira acoplado à contra-bordo de uma embarcação que permite o recolhimento dinâmico, ou seja, a embarcação pode se movimentar enquanto recolhe o óleo.

- Sistemas para alta velocidade:

São usadas até três embarcações, sendo que duas seguram as extremidades das barreiras, enquanto que uma terceira recolhe o óleo. Sistema usado para velocidades de correntes entre 1,5 e 5 nós.

-Cercos Total:

Geralmente feito a navios quando estes estão fundiados. Os recolhedores podem ser usados de cima do próprio navio.

-Cercos Parciais:

Geralmente feito em navios quando estes estão no porto ou em um atracadouro. Podem ser usados Towbars com Imã para a fixação das barreiras ao casco do navio, geralmente este tipo de cerco é feito com barreiras permanentes (ANEXO 4).

#### Falhas das Barreiras

As barreiras não respondem bem de acordo com as características oceanográficas e meteorológicas do local (SL Ross, 1999). Barreiras não funcionarão bem se a velocidade da corrente for superior a 1,5 nós. Acima desta velocidade começa a acontecer falha da capacidade de contenção da barreira. Além disto, com óleos mais leves existe maior facilidade de acontecer estas falhas:

- Sobre passagem – o óleo passa por cima da barreira.
- Drenagem - Ocorre quando a quantidade de óleo contido na barreira ultrapassa a capacidade máxima para qual a barreira foi projetada.
- Arraste - É quando a velocidade relativa entre a água e a barreira é muito alta. Provoca dispersão do óleo em gotas passando por baixo da barreira.
- Barreira Submersa - Quando o tamanho do cabo amarrado à âncora não atende à profundidade. Em geral, a quantidade de cabo deve ser de cinco vezes a profundidade.
- Barreira Planando - Geralmente ocorre quando não se usa o Towbar ou quando se tem o vento e correntes fortes e com direção oposta.
- Ancoragem – Muitas vezes, no momento da fixação da barreira não é levado em conta a

variação de marés. Alguns locais possuem variações de mais de 6 m de altura. A técnica diz que a quantidade de cabo da barreira para a âncora deve ser cerca de 5 vezes a profundidade local. A quantidade de cabo da bóia de arinque para a âncora deve ser de cerca de 1,5 vezes a profundidade local.

### 7.3.3 Condições operacionais para barreiras

A escolha da barreira a ser aplicada e a quantidade usada dependerão das condições de corrente, de vento, de profundidade e da disponibilidade de embarcações.

-Condições de tempo

-Estado do mar (Tabela 7). De acordo com o estado do mar e o tamanho das suas ondas, fazemos a escolha da barreira, para ondas grandes, acima de 1 metro, deve-se escolher uma barreira que tenha uma grande borda livre.

-Águas abertas ou abrigadas. Barreiras para águas abrigadas são portáteis e manuais, já para águas abertas são barreiras que geralmente encontram-se enroladas em grandes carretéis e são obrigatoriamente usadas com o auxílio de sistemas hidráulicos para lançamento e recolhimento.

-Velocidades das correntes. Uma corrente excessiva, somada ao deslocamento de uma embarcação, pode tracionar muito uma barreira fazendo com que a mesma possa se romper, já grandes quantidades de barreiras podem ser difíceis de serem rebocadas por pequenas embarcações.

**Tabela 7 - Estado do Mar (Fonte: EPPR, 1998)**

<b>Ambiente</b>	<b>Altura das Ondas (m)</b>	<b>Velocidade do Vento (Km/h)</b>
Águas Calmas	Menos 0,3	Menos que 10
Águas abrigadas	0,3 – 2	10-30
Mar Aberto	2 ou mais	30 ou mais

Efeito da Corrente

Se a velocidade da corrente perpendicular à barreira for maior do que aproximadamente 0,7 nós (0,36 m/s), o óleo será perdido sob a barreira. Isto significa que não

é possível barrar um curso de água diretamente de uma margem a outra, se a corrente em qualquer ponto for maior que 0,7 nós.

Para minimizar a perda de óleo, é necessária angular a barreira em uma extensão tal que reduza a corrente perpendicular à barreira até abaixo do valor crítico. Se a velocidade da corrente for 4 nós (2,06 m/s) ou mais, o comprimento da barreira requerido torna-se tão longo e tão difícil de manusear que a instalação da barreira não é recomendada.

É importante notar que em mar aberto, onde barcos/navios podem se mover de acordo com a corrente e assim reduzir a velocidade relativa entre a barreira e a água, isto não é problema, se o movimento relativo entre a barreira e a água for mantido abaixo de 0,7 nós.

Em todos os estuários e locais da costa, mudanças na direção da corrente devido aos efeitos da maré podem ser esperadas em um ciclo regular. É importante reconhecer este fato quando instalar as barreiras, pelas seguintes razões:

Uma barreira, quando estiver posicionada, normalmente é somente efetiva em coletar ou desviar óleo vindo de uma direção geral. Barreiras adicionais deverão ser posicionadas para levar em conta as diferentes direções de correntes que podem ser sentidas devido às mudanças da maré.

#### Efeito das Ondas

As ondas têm um papel importante no desempenho de uma barreira. Altura e frequência possuem relação direta com a construção da barreira e a sua flexibilidade. Estas são considerações específicas para saber se a barreira vai conseguir manter o óleo.

Inevitavelmente, porque as barreiras são construídas em tal variedade de materiais e desenhos, é difícil estabelecer regras rígidas. No entanto, os seguintes comentários gerais deverão servir como um guia:

Ondas longas - Desde que a barreira seja flexível, estas não deverão causar nenhum problema, a não ser que sejam excessivamente altas.

Ondas médias - A não ser que a barreira seja muito flexível, existe uma chance real de que “pontes” ocorram com alturas de ondas significantes acima de 3 metros e o óleo poderá

passar debaixo da barreira.

Ondas curtas - Estas ocorrem em águas restritas ou após ondas maiores em águas abertas, através de ventos locais. Estas causam turbulência excessiva no ápice de uma barreira e com a ajuda do vento, podendo assim resultar que o óleo seja borrifado por cima da barreira.

### Lançamento

O lançamento das barreiras não é uma operação simples. É essencial que o lançamento seja executado de uma forma lógica e bem organizado, primeiramente para facilitar o trabalho e, segundo, e mais importante, para evitar dano à barreira durante a sua armação. A seguir, há um número de diretrizes que pode ajudar a instalar uma barreira com o mínimo esforço e sem nenhum dano. Antes que a barreira seja armada, o comprimento aproximado requerido deverá ser estimado e montado, o quanto completo possível, seja em terra ou a bordo de um barco/navio.

Uma vez que a barreira estiver pronta, ela pode ser lançada e amarrada em posição por barco/navio. Sua posição final pode ser arrumada, jogando âncoras apropriadas. Onde nenhum ponto de âncora seja disponível, tentativas e erros vão determinar as posições corretas das âncoras. Para evitar embaraços dos cabos de âncoras, devido ao movimento das ondas, deverão ter ao menos três vezes o comprimento da profundidade da água local, mas o ideal é de que seja cinco vezes a profundidade.

Onde uma barreira está sendo usada para coletar óleo ou para proteger uma área sensível, todo o cuidado deverá ser tomado para assegurar que a barreira bloqueie a praia, de forma que nenhum óleo possa passar. Isto é um problema particularmente difícil em águas de marés vazantes e enchentes, especialmente onde o fundo é rochoso ou cheio de matacões rochosos. O uso de uma barreira especial de proteção de praia é recomendado (Shorefence).

Muito tempo pode ser ganho com planejamento prévio em áreas que necessitam de barreiras para proteção, estudos de modelagem de óleo probabilístico podem ajudar na escolha do local. Pontos de ancoragem permanentes para barreiras vão acelerar sua instalação. Levando adiante, é possível posicionar uma barreira do comprimento correto com todos os seus cabos de ancoragem já cortados próximo ao local.

-Requisitos de Logística:

-Local fixo (Próximo à área de risco)

-Transporte

-Disponibilidade de mão-de-obra e equipamento para lançamento da barreira

-A necessidade de compatibilidade de diferentes tipos de barreiras.

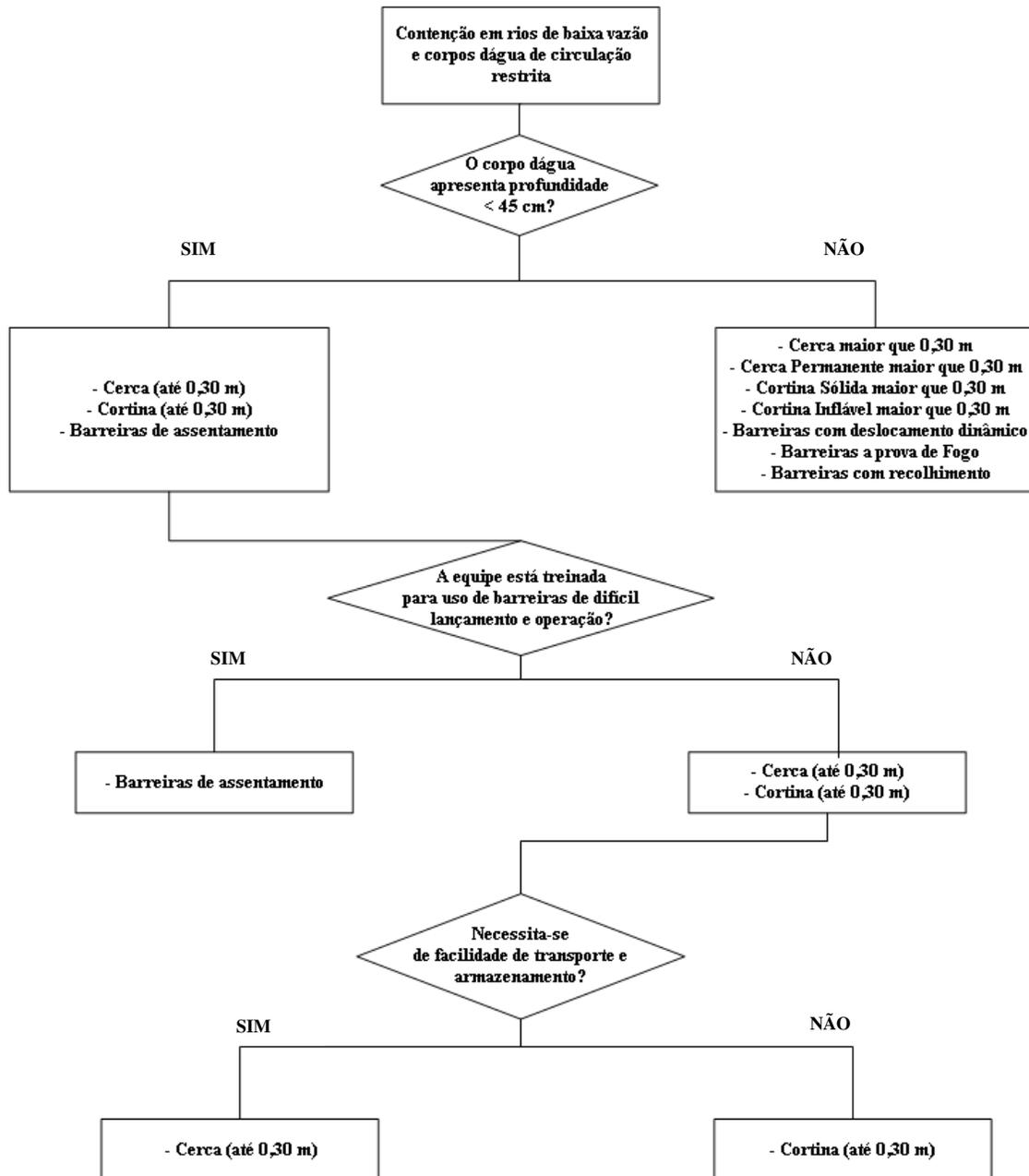
Considerações similares sobre o acima dito terão de ser consideradas no lançamento do equipamento. No entanto, em muitos casos, o coordenador do time de resposta do derramamento de óleo terá pouca escolha de tipos de barreiras e terá de usar o que já estiver disponível. A importância de um pré-planejamento e escolha das barreiras e de todo o equipamento restante não deverá ser subestimada.

#### 7.3.4 Árvore de Decisão para escolha de barreiras para locais de circulação restrita

##### Barreiras para águas interiores

Estas barreiras são pequenas, leves, baratas e de fabricação simples. Normalmente, são usadas em águas calmas, com pequenas ondas e baixas correntezas. Uma das maiores preocupações para a escolha deste tipo de barreira (Árvore 11) é que a saia não seja muito grande, devendo ter no máximo 1/3 da profundidade local, pois, uma saia muito grande poderia gerar um turbilhonamento e faria com que o óleo passasse por debaixo da barreira.

Outra grande vantagem deste tipo de barreira é poder levá-la muitas vezes a local de acesso remoto, pois são leves de transportar e muito fáceis de operar. Não suportam operação em locais onde existem ondas e forte correnteza.



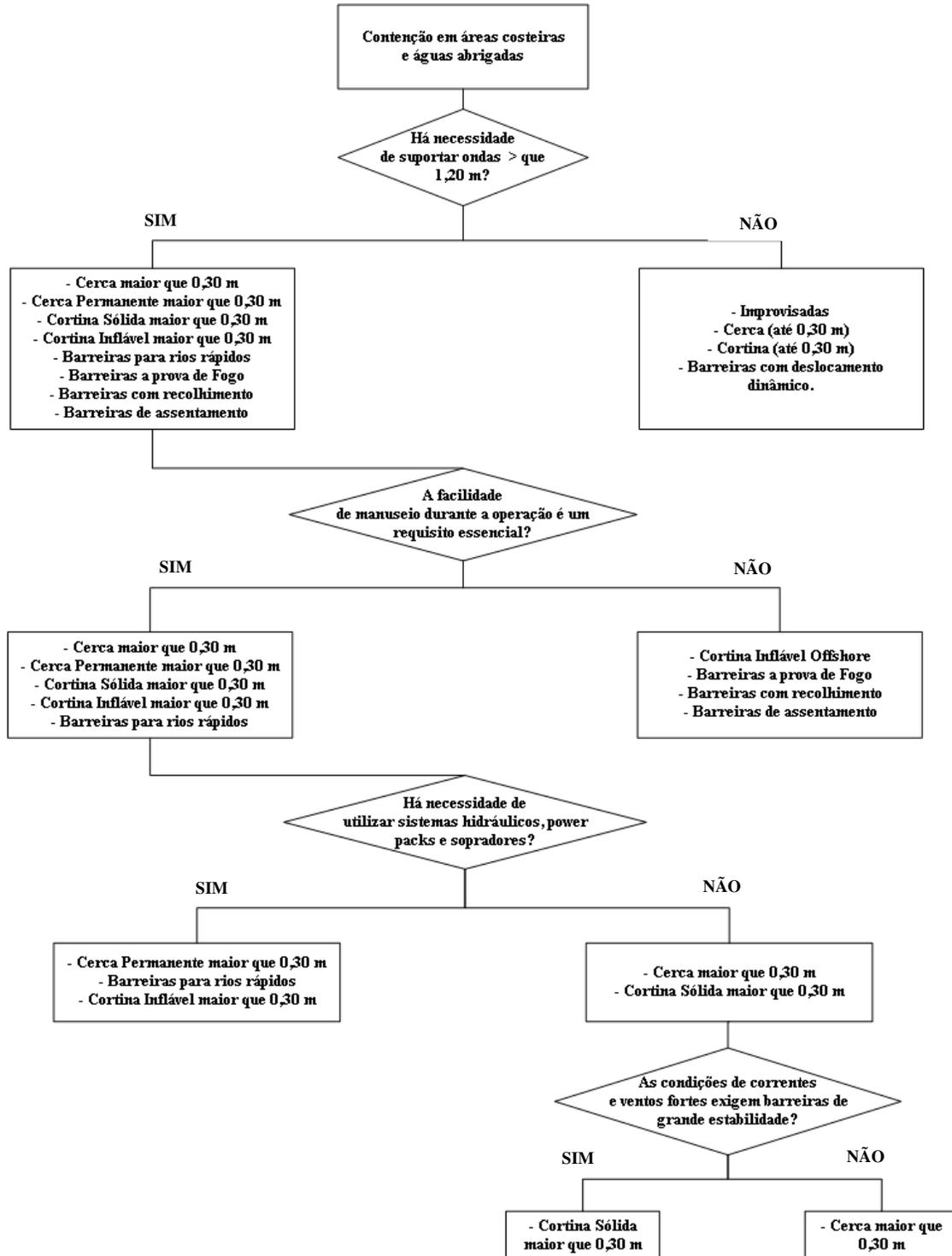
**Árvore 11** - Aplicação de barreiras de contenção em rios de baixa vazão e corpos d'água de circulação restrita.

### 7.3.5 Árvore de Decisão para escolha de barreiras em águas costeiras e áreas protegidas

#### Barreiras Costeiras

Estas barreiras são bem menores que as barreiras oceânicas. Elas foram projetadas para funcionarem bem em locais com ondas até 0,80 m (Árvore 12). Muitas vezes, são

utilizadas em baías ou área de terminais petrolíferos. São de fácil manuseio e necessitam de menos treinamento que as barreiras oceânicas para serem utilizadas.



Árvore 12 - Aplicação de barreiras em áreas costeiras e águas abrigadas.

### 7.3.6 Árvore de Decisão para escolha de barreiras para contenção em alto-mar: barreiras oceânicas (offshore)

Estas barreiras são grandes, robustas e necessitam de uma unidade de força (Power Pack) para realizar o lançamento e o recolhimento. Funcionam bem até ondas de 2 m de altura (Árvore 13). Acima desta altura começa haver falha da barreira. Geralmente, possuem entre 40 – 60 cm de borda livre e possuem de 0,80 – 1,60 de saia. Estas necessitam também de sopradores de ar (Blowers) para realizar o preenchimento.

Algumas barreiras mais comercializadas no Brasil possuem cerca de 300 m de lance contínuo. Isto quer dizer que após conectado o soprador de ar, esta pode ser inflada de uma só vez, demorando todo o processo cerca de 20 min. Outros modelos são multisessões. Cada câmara deve ser inflada separadamente. Este tipo de barreira requer maior habilidade do usuário.

Os dois tipos de barreiras descritas acima possuem câmaras independentes com válvulas de retenção. Isto quer dizer que, caso um dos compartimentos seja rompido, os demais continuarão funcionando bem.

### 7.3.7 Árvore de Decisão para escolha de barreiras para rios rápidos

#### Lançamento em Rios rápidos

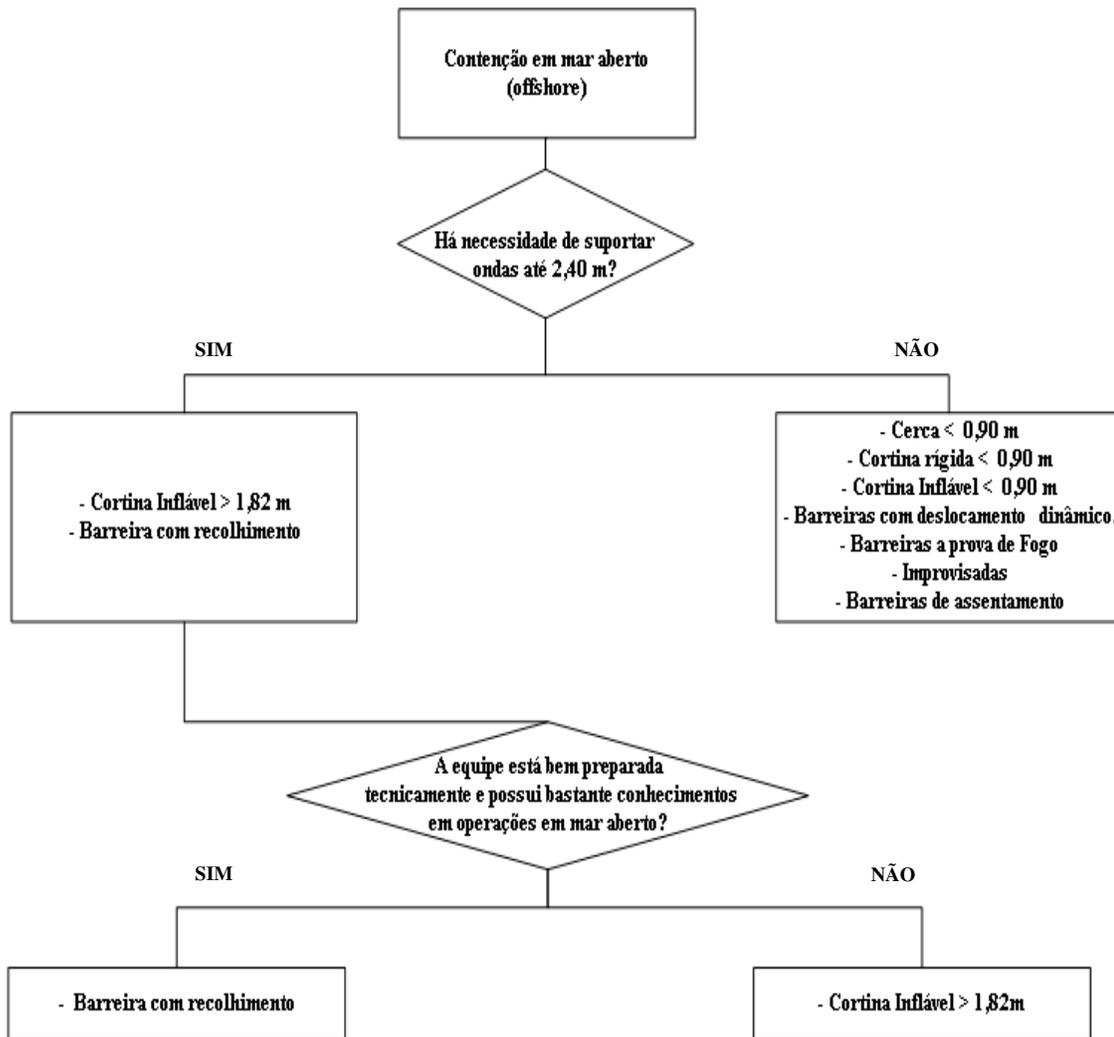
Geralmente se faz o desvio do óleo e a aplicação de barreiras é normalmente executada em situações de rios e linhas de praia. Há necessidade de haver um ponto adequado de coleta do óleo, na praia ou na margem do rio, e as barreiras são usadas para desviar o óleo para aquele ponto (áreas de sacrifício). Após o óleo ter sido defletido, este pode então ser recuperado por recolhedores, bombas a vácuo ou outros meios de recolhimento.

A técnica mais comum de contenção em rios é utilizar as margens para fixar as barreiras, através de pontos existentes, tais como árvores, postes, construções existentes ou estacas de aço ou madeira fixadas para este fim.

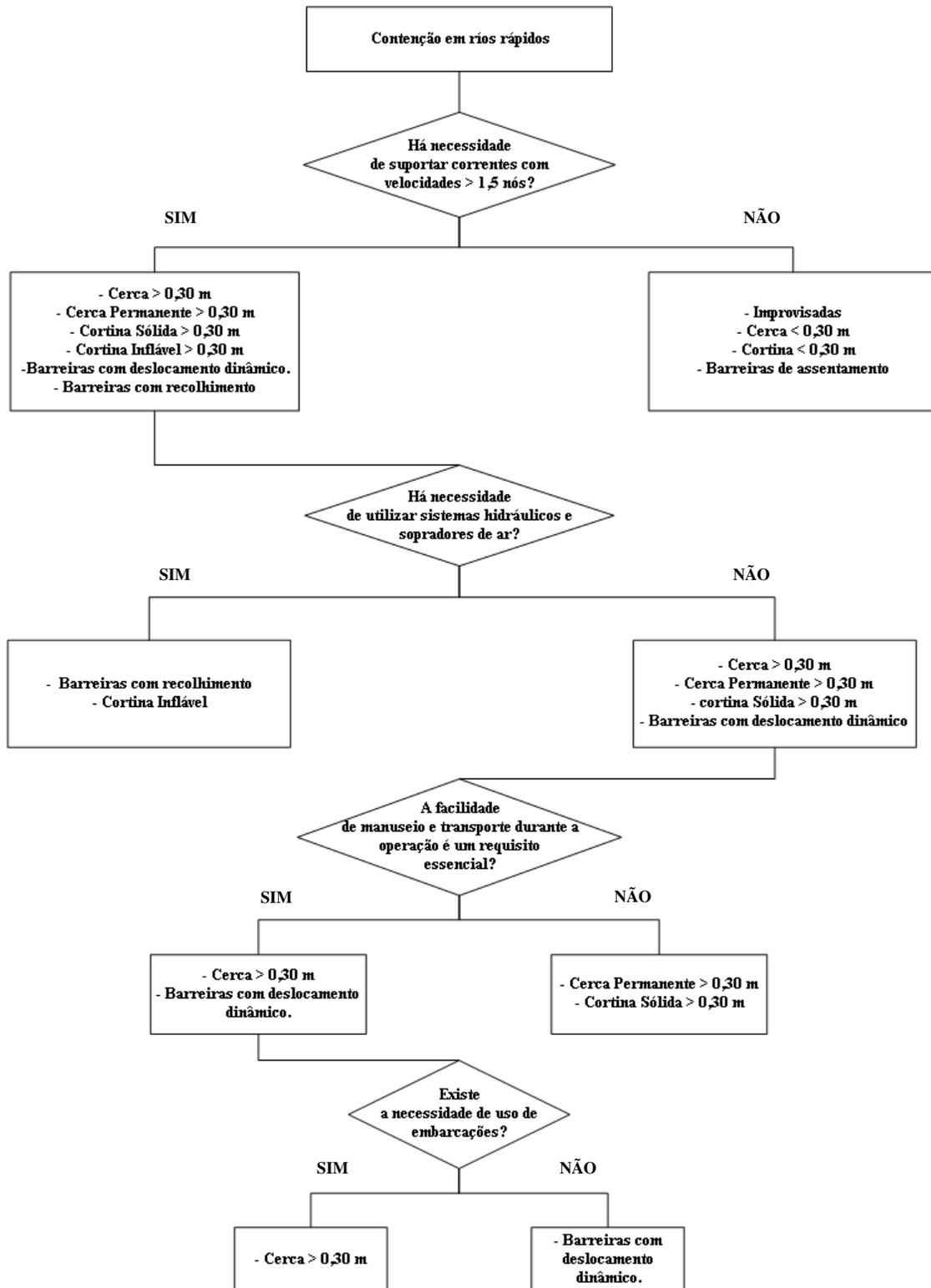
O local escolhido deve ser após uma curva do rio, de forma a se aproveitar o efeito da velocidade tangencial das águas após uma curvatura natural (área de baixa energia). São

utilizadas tanto barreiras de contenção quanto barreiras absorventes, de forma intercalada.

Para cada conjunto de barreiras fixadas em ângulos menores que 45º deverá ser preparada uma área de sacrifício para facilitar o recolhimento do óleo. A árvore 14 mostra quando se deve optar por este tipo de barreira.



Árvore 13 - Aplicação de barreiras em mar aberto (offshore).



Árvore 14 - Aplicação de barreiras em rios rápidos.

### 7.3.8 Árvore de Decisão para escolha de barreiras de proteção de áreas sensíveis

#### Barreiras de Proteção (Entremarés)

Na maior parte de linha costeira ou margem de rios (Árvore 15), existem diversas formas de importância ambiental e econômica que deveriam ser protegidas sempre que possíveis, tais como:

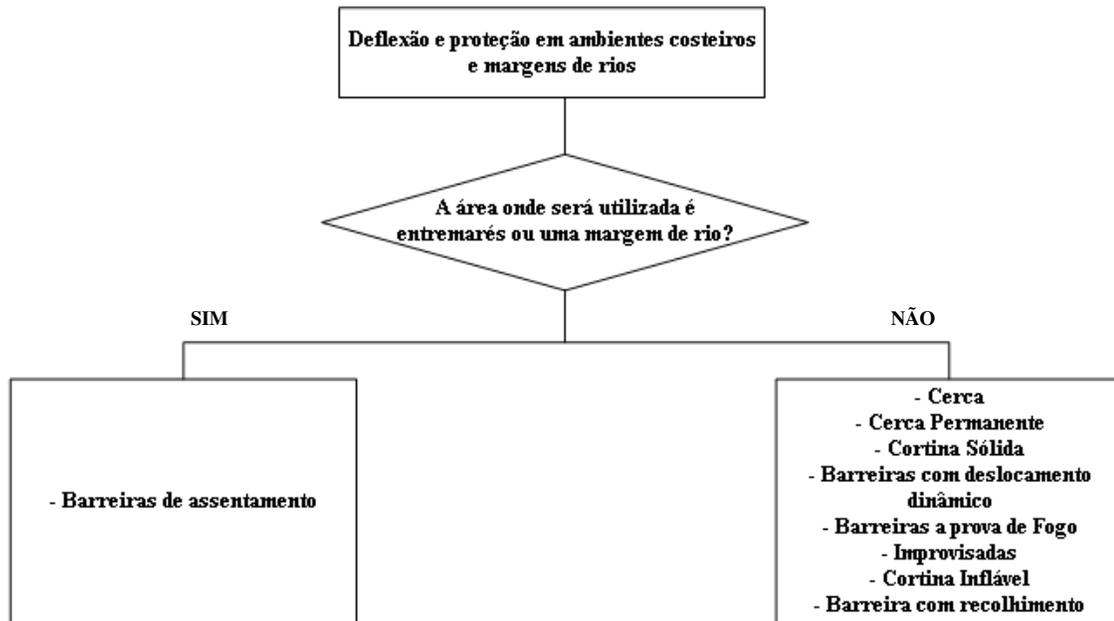
- Entrada de água de resfriamento para usinas de energia elétrica e indústria.
- Entrada de água limpa para áreas de maricultura/ aquíicultura.
- Marinas/ portos.
- Santuários de pássaros e sítios de nidificação de peixes, crustáceos e moluscos.
- Acessos para áreas de manguezal e estuários.

Estas barreiras são formadas por uma câmara de flutuação inflável e por duas câmaras inferiores que são cheias de água. Esta parte, que é preenchida com água, funciona como lastro, dando assim estabilidade. Quando a maré fica baixa, esta faz o completo selamento junto ao sedimento (areia, lama, argila), fazendo com que o óleo não passe.

Estas podem estar associadas a barreiras de contenção, dando configuração ao que chamamos de área de sacrifício. São posicionadas em áreas de grande variação de marés, como é o caso das áreas de mangue.

Ao realizarmos o posicionamento, temos que tomar o cuidado de primeiramente preencher a câmara com ar, por questões de segurança, posicioná-la e, por fim, fazer o preenchimento com água. Vale ressaltar que após o preenchimento com água, esta barreira fica muito pesada, dificultando o reposicionamento. Deve-se ficar também atento ao momento da virada da maré e, por conseguinte, a necessidade de uma nova configuração.

Este tipo de barreira possui resposta muito rápida. Uma equipe bem treinada consegue estender e encher de água cada 25 m em 15 min.



**Árvore 15** - Aplicação de barreiras de proteção em áreas sensíveis, segundo MMA, 2002.

### 7.3.9 Árvore de Decisão para escolha de barreiras para queima in-situ/ proteção ao fogo

Quando existir fogo, mas não houver nenhum perigo dele causar dano a pessoas ou propriedades, a melhor opção pode ser a de permitir que ele queime até extinguir. Esta opção pode ser avaliada (Árvore 16) quando for considerado o tamanho e a extensão do derramamento, estado do fogo, proximidade de propriedade e dano ecológico. No momento da queima são liberados diferentes gases, produtos da combustão. A aproximação das chamas só poderá ser realizada por equipes treinadas e especializadas. Em um incêndio são liberados inúmeros compostos de alta toxicidade que apresentam grandes riscos para a saúde, devido à formação de compostos como monóxido de carbono, dioxinas, entre outros, e procedimentos de segurança devem ser adotados (NOAA, 1992).

Cada vez mais organizações de resposta à emergência desenvolvem produtos e equipamentos para remoção de óleo no mar. Neste contexto se insere a barreira a prova de fogo. Estas barreiras são empregadas para conterem manchas com risco de incêndio ou, ainda, para concentrar manchas para sua posterior ignição intencional. As barreiras antifogo eram, no passado, construídas em revestimento metálico ou em cerâmica. Atualmente, existem barreiras com revestimento saturado de água.

Deve-se sempre ponderar a sua utilização, tem-se que saber se existem comunidades

próximas, se existe o risco da mancha se incendiar e atingir comunidades. Deve ser feita uma análise profunda para a sua utilização, mas, em geral, deve-se conhecer a dispersão atmosférica e simular modelos para a dispersão da fumaça negra.

Muitos países da Europa e os Estados Unidos da América aceitam esta técnica como opção de limpeza final do óleo. A técnica consiste em uma queima controlada do óleo no mar. A queima não é um processo muito fácil de realizar o controle. Muitos óleos não possuem capacidade calorífica para que o óleo suporte a completa combustão. Então, além de oxigênio suficiente, algumas vezes tem que ser adicionado energia (combustível) ao sistema para que a operação se complete totalmente.

A logística da operação com barreiras de incêndio não é tão simples. Deve-se atentar para o fato de que os hidrocarbonetos serão transformados. Uma vez na fase líquida, este será transformado para a fase gasosa.

São necessários modelos matemáticos para avaliar a dispersão aérea desta pluma de poluentes, a queima se trata de uma dispersão aérea. A validação da compra de um equipamento deste se justifica no risco de perigo iminente que uma atividade possa oferecer, como por exemplo, se temos um incêndio próximo à área de um terminal marítimo. Este tipo de barreira nos possibilita deslocar a mancha que está pegando fogo para uma área mais segura e longe do terminal.

Necessita-se de 2-3 mm de espessura de mancha para realizar a queima. Manchas mais tênues são mais facilmente resfriadas e, portanto, mais difíceis de pegar fogo. A técnica ensina que devemos movimentar a barreira a fim de concentrarmos melhor as manchas de óleo, chegando então à espessura ideal. Pode-se iniciar a queima da mancha com o uso de um lança-chama por helicóptero (Helitorch) ou um sistema de ignição, onde se pode lançá-lo manualmente. Pode-se também utilizar materiais inflamáveis, como gasolina, querosene, para ignizar e propagar a chama.

Testes de campo já comprovaram eficiência de até 98% da queima, mostrando melhor resposta que uma contenção mecânica ou com uso de dispersantes químicos, além de gerar menos resíduos e ser a mais barata das técnicas. Lembra-se ainda que o óleo que foi derramado, mais cedo ou mais tarde, seria mesmo queimado, então voltamos para questão da consideração da bacia aérea.

Compostos emitidos nesta queima

Além do aspecto visual, caso o vento esteja soprando em direção à uma cidade, este está carregando material particulado, Hidrocarbonetos poliaromáticos (PAHs), Componentes Orgânicos Voláteis (VOCs), clorinas, monóxidos e dióxidos de carbono e dioxinas. Estudos têm demonstrado que a queima a poucos quilômetros de cidades e vilarejos não constitui problema ambiental ou de saúde pública relevante.

Impacto desta operação

Em áreas distantes da costa, a queima pode ser considerada um método satisfatório, entretanto, devido aos aspectos de segurança e de poluição do ar, este método deve ser exaustivamente analisado.

Conforme o óleo intemperiza, os componentes mais voláteis são rapidamente perdidos através da evaporação. Este aspecto, juntamente com o processo de espalhamento da mancha na superfície do mar, torna a queima um método progressivamente menos efetivo ou mesmo impossível. Deve-se realizar a queima com óleo fresco. Com o passar do tempo, o combustível vai perdendo os seus componentes mais voláteis e ignizáveis.

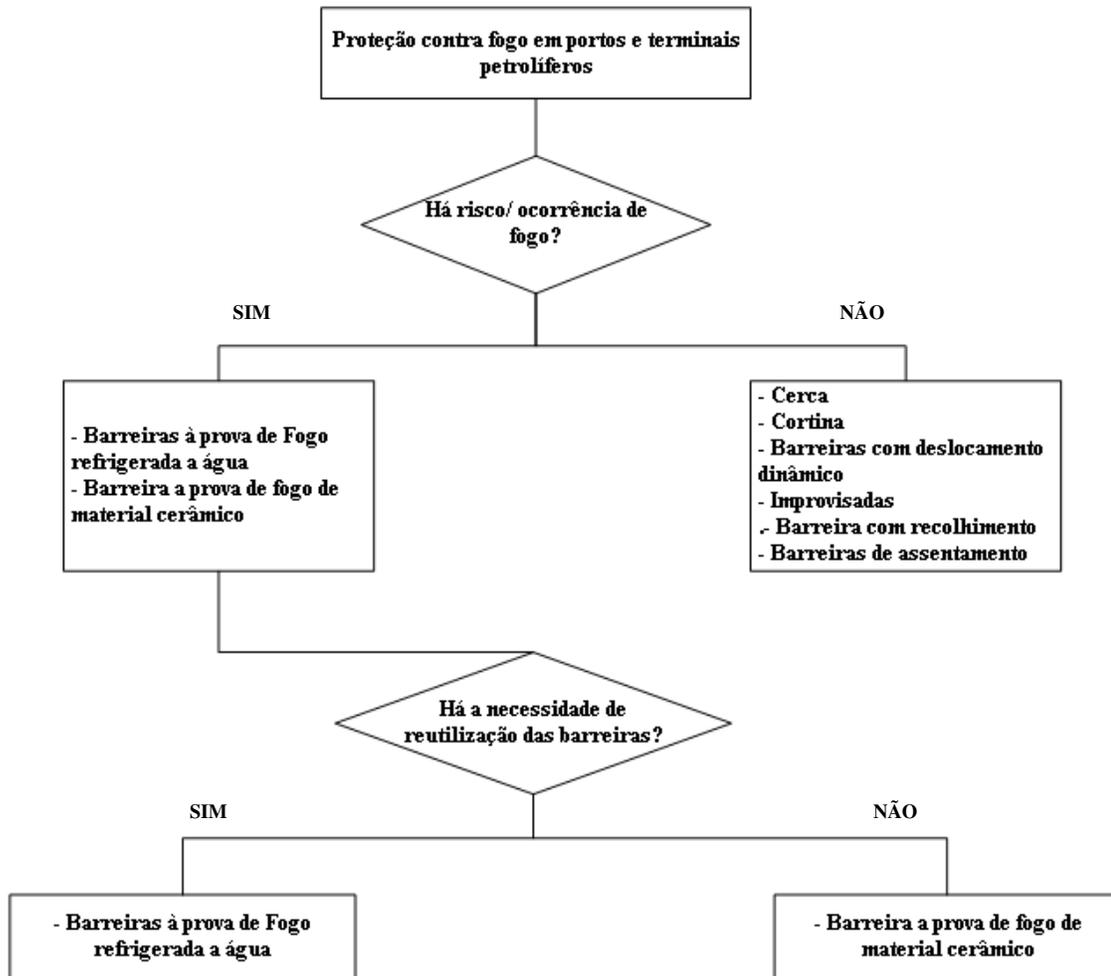
Falta de Regulamentos

No Brasil ainda não existe uma legislação específica para queima in situ.

#### **7.4 Recolhedor (Skimmer)**

Existe hoje uma grande quantidade de equipamentos de recuperação (Skimmers) tanto para mar aberto quanto para águas calmas. Para barreiras, temos regras bem definidas publicadas no padrão ASTM. Classificar barreiras é relativamente fácil, mas a classificação de “skimmers” é muito mais difícil.

Antigamente, eram usados critérios de vantagens e desvantagens do uso do “skimmer”. Estes critérios eram muito subjetivos, e o que pode ser vantagem para um usuário pode ser desvantagem para outro ou vice-versa. Os Skimmers podem ser classificados em quatro categorias, baseadas no princípio de recolhimento de óleo. Cada categoria possui tipos de sistemas de recolhimento e em muitos casos, podemos encontrar modelos antigos de recolhedores atualizados em novas versões.



**Árvore 16** - Aplicação de barreiras em situações com risco/ existência de fogo/ explosão.

Para cada tipo de skimmer os fabricantes possuem diferentes tamanhos e modelos de equipamento. Diferentes fabricantes produzem dispositivos similares, cada um com seu próprio desenho e padrão de qualidade. Os Skimmers podem ser classificados de acordo com a sua aplicação, podendo ser autopropelidos, dinâmicos e estacionários.

- Autopropelidos – Possuem movimento próprio, podem ser guiados por joysticks ou por alavancas, possuem hélices (Trusthers) de movimento à vante e à ré. Estas possibilitam, durante uma operação, posicionar o skimmer no local de maior concentração de uma mancha.

- Dinâmicos – Geralmente são acoplados à vante de uma embarcação ou em um dos seus bordos. Possibilita o recolhimento de óleo e o deslocamento de uma embarcação simultaneamente.

- Estacionários – Não possuem movimento. Estes são posicionados no local de maior

concentração de óleo. O seu movimento se dá por cabos e retinidas amarrados nos mesmos.

Cada vez mais, em todo o mundo, as indústrias vêm realizando esforços para o desenvolvimento de métodos e equipamentos para a remoção e recuperação de óleo, em função dos diversos fatores que influenciam os mais diferentes tipos de derrames.

#### 7.4.1 Tipos de Skimmers

Seguindo a contenção de um derramamento de óleo, seria de máxima valia remover o óleo do local do derramamento e levá-lo para onde possa ser armazenado de forma segura e aceitável. Nem todos os acidentes de derramamento são passíveis de recolhimento do óleo poluente e outros métodos de proteção e disposição deverão ser considerados.

Os recolhedores podem ser classificados em quatro grupos básicos, de acordo com os princípios de operação: Vertedouro, oleofílico, a vácuo e Mecânico.

##### Vertedouro

A força da gravidade/densidade causa a flutuação do óleo sobre a água. O vertedouro (ANEXO VII), na interface do óleo com a água, por gravidade, faz o óleo escoar. O vertedouro minimiza o escoamento da água junto com o óleo. Um simples ajuste de um vertedouro minimiza bastante a quantidade de água.

##### Vertedouro Simples

O petróleo escoar sobre o vertedouro e a água sai pelos orifícios situados abaixo do vertedouro dos skimmers. Alguns modelos possuem skimmers acoplados ao próprio sistema e outros tipos devem ser usados com bombas externas. Estas bombas variam de acordo com o tipo de óleo (ver capítulos sobre bombas).

Estes skimmers funcionam bem com camadas espessas de óleo. Se o mar estiver agitado, a quantidade de água recolhida é muito grande, diminuindo a eficiência da quantidade óleo/água. A presença de lixo também inviabiliza o uso deste tipo de skimmer.

##### Vertedouro de nivelamento automático

O princípio de operação é igual ao dos vertedouros simples. A sua grande vantagem é que o equipamento consegue regular o nível do vertedouro de acordo com a espessura da camada de óleo, melhorando, e muito, a taxa de recolhimento água/óleo.

## Braços Recolhedores

Sistema tipo vertedouro que pode ser acoplado a embarcações com um ângulo de 60 graus. Este tipo de skimmer pode ser usado para todos os tipos de óleo, mas é bastante suscetível ao lixo. Requer grandes áreas para armazenamento de resíduo.

## Vertedouro de nivelamento hidráulico

Permite ao operador regular a altura do vertedouro de acordo com o desenrolar da operação, melhorando a eficiência da relação água/óleo recolhida.

## Barreira tipo Vertedouro

O sistema consiste em um skimmer tipo vertedouro acoplado a uma barreira. Ele possui uma câmara que é preenchida com ar, que vai dar fluabilidade a barreira. Esta também possui uma câmara que é preenchida com água e que serve como lastro da barreira. O sistema permite regular a altura da barreira e, conseqüentemente, a altura do nível do vertedouro. Este equipamento também permite o recolhimento dinâmico e de grandes volumes de óleo. Modelos como a barreira “Weir Boom” recolhem volumes de até 210 m<sup>3</sup> de óleo por hora.

As ondas atrapalham a taxa de recolhimento de óleo. Lixos entopem facilmente este tipo de sistema, ocasionando grandes transtornos. Este tipo de equipamento não deve ser usado em baías ou em locais onde haja grandes quantidades de lixo.

## Oleofílicos

Inclui recolhedores tipo corda (ANEXO VIII), escova (Figura 17), tambor (ANEXO IX), disco (ANEXO X) e cinto. A superfície oleofílica se move através da mancha e o óleo retido é subseqüentemente raspado ou espremido da superfície para dentro de uma área coletora.



**Figura 17** – Recolhedor Oleofílico (Foto: John Cantle)

Recolhedores que utilizam propriedades oleofílicas muitas vezes alcançam uma porcentagem maior de óleo recolhido em relação à água. Funcionam melhor com óleos de viscosidade média entre 100 e 2000 Centistokes.

Óleos de baixa viscosidade, tais como diesel ou querosene, não se acumulam em superfícies oleofílicas. Materiais de alta viscosidade, tais como óleos pesados de porões, são excessivamente adesivos e difíceis de remover, porém, emulsões viscosas de água em óleo podem ser quase não-adesivas.

#### Tipo Tambor

São tambores oleofílicos que giram por um sistema hidráulico. Eles aderem o óleo que passa por raspadores, sendo que este óleo então é bombeado. Alguns sistemas mais modernos permitem que o afundamento do tambor seja regulável. Alguns modelos possuem bombas acopladas ao próprio sistema e outros tipos devem ser usados com bombas externas.

A velocidade de rotação do tambor varia de acordo com o tipo de óleo e a espessura da camada de óleo. Este tipo de recolhedor funciona bem em mar calmo e com óleos de viscosidade baixa, média e alta. Ele pode trabalhar onde há lixo (Detritos) e a sua taxa de recolhimento óleo/ água é boa, chegando a 50% a relação para Diesel e 90% a relação para óleo Bunker C.

Unidades médias podem ser operadas por duas pessoas, são compactos e podem

trabalhar em pouca profundidade. O seu uso é limitado para águas calmas e tranqüilas. Estes “skimmers” não recolhem óleos solidificados e nem tratados com dispersantes.

#### Tipo Disco

Estes sistemas funcionam com o princípio de aderência do óleo ao disco que passa pelos raspadores. A seção de disco pode ser triangular, circular ou quadrada. Os discos são geralmente acionados por sistemas hidráulicos ou pneumáticos. A maioria dos modelos possui bomba própria acoplada ao skimmer.

Recolhedores de disco possuem bom rendimento para óleos de médias e baixas viscosidades. Modelos antigos eram bastante pesados. Modelos modernos são mais leves e podem ser operados por somente duas pessoas. A taxa de recolhimento água-óleo é alta.

Em águas calmas o sistema funciona bem. Os modelos com quatro seções de disco recolhem óleo em todas as direções. Estes tipos de recolhedores não recolhem óleo solidificado e que tenha sido tratado com dispersantes. Este recolhedor não trabalha bem em áreas que possuem lixo, sendo facilmente entupidos.

#### Tipo Corda (Rope Mope)

Cabos de fibras de polietileno passam sobre o óleo. São usadas roldanas para a movimentação destas cordas, que são espremidas, e o óleo é bombeado. Este tipo de recolhedor pode ser de disposição horizontal ou vertical.

O sistema horizontal é mais comumente usado em canaletas e em águas paradas, como de tanques e lagoas. Já o sistema vertical é mais usado para mar aberto, porque ele não está inteiramente dentro d’água. O sistema também não sofre ações de ondas e nem sofre muitos esforços de correntes e de pancadas no costado da embarcação.

O sistema vertical é preferencialmente usado em “offshore”, por este tipo de skimmer não sofre influência direta das ondas. É um dos equipamentos que apresenta melhores rendimentos para condições de mar acima de quatro na escala “Beaufort”.

As cordas oleofílicas podem ser para óleo leves e médios. Em locais muito frios, as cordas podem congelar-se. Quanto menor a velocidade de rotação, mais o óleo se aderem às cordas. Se o óleo estiver emulsionado e muito viscoso, os fios da corda se aderem e perdem um pouco de rendimento. Os cabos podem se desgastar, caso o óleo esteja impregnado com areia.

Este recolhedor opera em qualquer profundidade, possui boas taxas de recolhimento água/óleo e tolera razoável quantidade de lixo.

#### Correias Oleofílicas

Geralmente estas correias são postas na proa das embarcações. Esta correia recolhe óleo e lixo, sendo que o lixo é separado manualmente. Esta correia também possui raspadores.

A correia funciona muito bem em óleos de média e alta viscosidades. Alguns modelos possuem uma bomba de indução, forçando o petróleo sobre a correia. Geralmente, as embarcações com este tipo de skimmer possuem reservatório para óleo e, muitas vezes, ainda contam com um sistema de separador água/óleo.

Este tipo de recolhedor é eficaz em qualquer tipo de mar, possui alta taxa de recuperação água/óleo e permite o recolhimento dinâmico (em movimento). É efetivo para uma ampla gama de tipos de óleo. Este tipo de operação requer técnico qualificado, pois é um equipamento de difícil manutenção. A vida útil da correia é curta.

#### Escovas Oleofílicas (LORI)

O petróleo se adere à escova (ANEXO XI), que pode ser de cerdas finas ou grossas e o óleo é retido por um raspador. Geralmente, os skimmers são compostos de 2 ou 3 seções de escovas.

Este equipamento pode ser instalado na proa de uma embarcação. Geralmente, nestas embarcações são acoplados direcionadores de fluxo, possibilitando um recolhimento dinâmico. Também pode ser usado em um dos bordos da embarcação. Normalmente, este tipo de skimmer é colocado na lateral da embarcação quando esta possui barreiras tipo V-Sweep.

São muito tolerantes a petróleos de média e alta viscosidades. São tolerantes a lixo. Geralmente, o sistema possui uma bandeja onde cai o lixo e este é separado manualmente. A taxa de óleo/água recolhida é boa. O óleo é bombeado geralmente por bombas externas. Escovas foram adaptadas para skimmers compactos também, sendo que alguns possibilitam recolhimento de óleo em quatro direções.

Este tipo de recolhedor funciona bem para óleo emulsionado. Para que haja o recolhimento, a embarcação deve estar em movimento ou deve haver uma corrente jogando o óleo para cima da escova. Geralmente, quando são feitos cercos com barreiras, lanchas com este dispositivo recolhem o óleo no vértice do cerco com barreiras em forma de “U”. O movimento das ondas dificulta o trabalho de recolhimento.

## Mecânicos

Estes incluem cintos com palhetas, discos de dentes de metal, baldes recolhedores e separadores em tambor. Todos dependem de uma ação física para puxar o óleo para dentro. Combinando-os com uma bomba adequada, deverão ser capazes de aceitar e transferir óleo viscoso, água estável em emulsões de óleo e lixos sólidos.

### Correia com paletas

Uma série de palhetas montadas sobre uma correia (ANEXO XII) gira levando o óleo para um tanque separador água/óleo. A quantidade de água recolhida é muito grande. Geralmente, a embarcação recolhedora possui um separador.

Este tipo de recolhedor funciona muito bem para óleo de médias e altas viscosidades e trabalham bem na presença de lixo. Se tivermos uma camada espessa de óleo, são recolhidas grandes quantidades de óleo. Ondas e correntes fortes atrapalham a operação de recolhimento. Eles recolhem todo tipo de óleo, mas são bastante eficientes com óleo de média viscosidade.

Este sistema também, comumente, usa direcionador de fluxo ou o direcionador é retirado e a escova é posta no vértice de um cerco com barreiras. São necessários operadores experientes para realizar este tipo de operação. As embarcações no mercado que possuem este tipo de sistema, normalmente, têm um deslocamento muito lento. Mesmo o Power Pack, que é responsável pelo giro da esteira e pelo deslocamento da embarcação, geralmente necessita de uma embarcação auxiliar para reboque.

### Discos denteados (Estrela)

O disco tipo “estrela” corta os pedaços do óleo viscoso e os transporta para o interior do skimmer. Este tipo de skimmer, obrigatoriamente, tem que ser de parafuso/lóbulo, devido à alta viscosidade do óleo. Pode ser aplicado a óleo bastante viscoso e até mesmo óleo solidificado. São pouco sensíveis a ondas e bastantes sensíveis a lixo e a sedimento.

### A Vácuo

Estes usam tanto bombas a vácuo (ANEXO XIII), como sistema “venturi” de ar para aspirar óleo da superfície da água diretamente para um local de armazenamento. Recolhedores especialmente desenhados podem ser acoplados nas pontas das mangueiras de sucção para aumentar sua eficiência.

O bombeamento de materiais viscosos é possível, permitindo a indução da água para

agir como um meio fluido. O diâmetro da mangueira de sucção determina o tamanho de sólidos, os quais podem ser tratados. Qualquer bloqueio resultará em uma perda tanto parcial como total de vácuo.

O recolhimento de óleos voláteis com baixos pontos de ignição deverá ser evitado por motivos de segurança, devido ao risco de fogo causado pela ação do vácuo, puxando os vapores leves. Quando forem usados tambores de 200 litros para o recolhimento, estes deverão ser fortalecidos, visto que, de outra forma, são passíveis de entrar em colapso.

Dentre os equipamentos de sucção, os sistemas do tipo "vacuum truck" são um dos que apresentam um rendimento mais satisfatório, tanto para a remoção como para o transporte do produto recolhido, uma vez que normalmente são compostos por bombas acopladas a carros-tanque. Muitas vezes skimmers tipo sucção são acoplados na extremidade das mangueiras do sistema a vácuo.

Os sistemas a vácuo são eficientes para se coletar resíduos oleosos e produtos de alta viscosidade. Porém, é necessária uma lâmina de óleo relativamente espessa e que seja utilizado em águas calmas, caso contrário aspira grandes quantidades de água.

A maior desvantagem está na necessidade de se ter fácil acesso para caminhões ao local do recolhimento. Outro inconveniente é a utilização, em algumas ocasiões, de mangueira muito comprida, acarretando uma redução na sua eficiência, devido à formação de coluna maior do que a capacidade máxima de sucção do equipamento.

É comum a utilização de sistemas a vácuo para recolhimento de óleo em praias, para se remover óleo encachado ou confinado, de ampla espessura. Em contraste com as bombas usuais, os sistemas a vácuo são eficientes para se coletar em locais com detritos, por não haver peças mecânicas rotativas em contato com os resíduos.

#### 7.4.2 Fatores que influenciam a eficiência dos recolhedores

Recolhedores são usados para coletar óleo na superfície da água. Sua eficiência vai depender de diversos parâmetros, tais como tipo de óleo e volume.

##### Viscosidade do óleo

A viscosidade será fator fundamental para escolha do melhor recolhedor. É importante também considerar a viscosidade para ajustes na rotação (RPM) dos recolhedores. A viscosidade do petróleo pode ser: Baixa, Média e Alta.

## Grau de emulsificação

Muitos óleos formam emulsões quando gotas de água são incorporadas ao óleo. Sabemos que água e óleo não se misturam. O óleo pode incorporar até 80% de água e isso geralmente acontece em ambientes mais turbulentos. São mais comuns de acontecer com óleos que contém concentração de asfaltenos acima de 0,5%. Estes processos físico-químicos ainda são pouco conhecidos, sabe-se que a quantidade de material aumenta muito com uma emulsão.

## Capacidade suportar detritos

Recolhedores tipos vertedouros não suportam detritos, e o sistema para rapidamente. Já oleofílicos do tipo tambor podem trabalhar muito bem na presença dos mesmos.

## Estado do mar

A altura das ondas e a correnteza são determinantes para o bom funcionamento dos recolhedores. De acordo com a condição do mar poderemos optar por diferentes recolhedores ou até mesmo usar outra estratégia de resposta.

## Dimensão do derrame

Alguns recolhedores possuem a vantagem de bombear uma grande quantidade de óleo. Para grandes volumes, recolhedores portáteis não conseguem obter uma resposta satisfatória.

## Profundidade

Locais de pouca profundidade requerem que se dimensione o recolhedor correto. Muitos destes recolhedores possuem calados de mais de 1 m, portanto deve-se atentar para este ponto também. Já locais profundos não possuem influência no recolhedor.

## Acessos ao local do vazamento etc.

De nada adianta o melhor recolhedor se no local não há recursos para descarregar recolhedores pesados. Derrames acontecem em lugares remotos portanto, muitas vezes utilizam-se recolhedores portáteis que podem ser carregados por somente uma pessoa. A equipe de resposta deve estar ciente do tipo correto de recolhedor que precisa ser escolhido, que nenhum recolhedor será 100% eficaz e que qualquer recolhedor vai recolher, de forma geral, uma mistura de óleo e água, necessitando o uso de um separador de óleo.

#### 7.4.3 Eficiência dos recolhedores em função da viscosidade

O óleo se espalha rapidamente sobre a superfície da água e é necessária uma rápida resposta a fim de que o problema seja minimizado. Temos que escolher o recolhedor com a correta capacidade de recolhimento. Quanto maior a espessura da camada de óleo, mais temos chance de usar um recolhedor de alta capacidade. Devemos ainda ter preocupação com as taxas de eficiência de água e óleo, e que muitas vezes existem limitações para descarte de resíduos oleosos.

Os skimmers com propulsão dificilmente conseguem vencer correntes acima de três nós de velocidade. O recolhimento acima desta velocidade também é muito difícil. Os recolhedores oleofílicos terão as suas velocidades de rotação ajustadas de acordo com a quantidade de óleo aderida ao sistema oleofílico. Geralmente, óleos mais leves requerem uma menor rotação do sistema. O uso intencional e as condições operacionais esperadas deverão ser primeiramente identificados, antes que alguns critérios, tais como tamanho, robustez, facilidade de operação, tratamento e manutenção dos recolhedores, possam ser avaliados.

Os fatores mais importantes a serem considerados são as propriedades de viscosidade (Figura 18) e de adesão do óleo derramado, inclusive, qualquer mudança destas propriedades ao longo do tempo. Em situações previsíveis, como em terminais marinhos e refinarias, o tipo de óleo tratado é conhecido e um recolhedor especializado pode ser escolhido, em detrimento de um outro versátil.

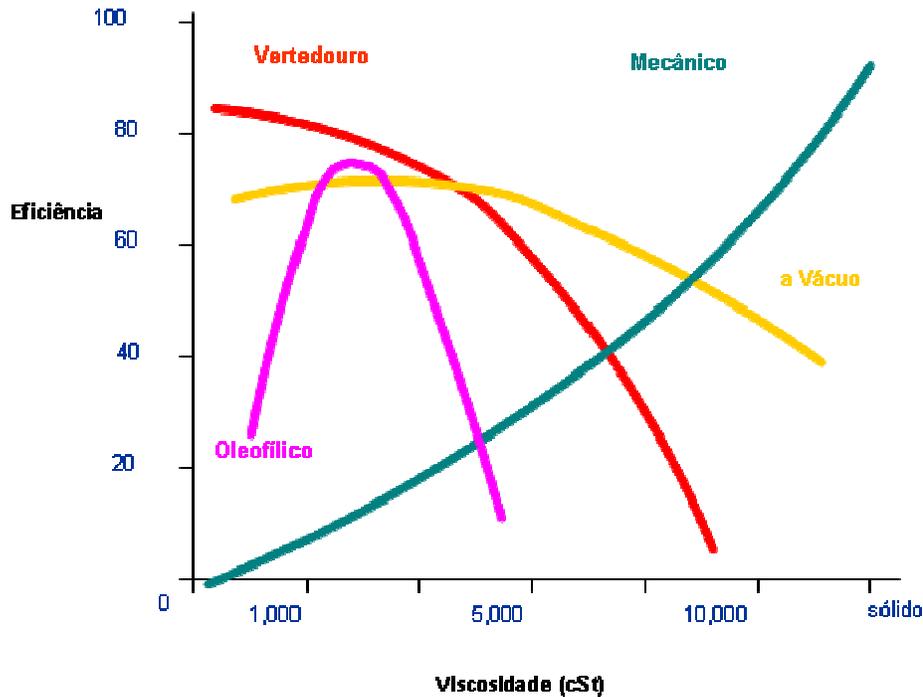
#### 7.4.4 Árvore de Decisão para escolha do melhor recolhedor para óleos do Grupo I

Óleos muito leves não são recolhidos (Árvore 17) devido a basicamente dois aspectos, o primeiro é a efetividade do recolhimento, pois tendem a formar grande manchas com uma espessura muito pequena. O segundo é que o confinamento deste tipo de óleo pode ocasionar uma atmosfera explosiva, e então este tipo de óleo somente pode ser recolhido com uma neblina de água ou com uma bomba centrífuga, já que o risco desta operação é muito grande.

A primeira coisa que devemos fazer é avaliar os riscos e ver se realmente é necessário entrar em uma área perigosa. Devemos saber também sobre o potencial de ignição do produto e o seu perigo de incêndio e de explosão.

O maior risco durante derrames de óleo ou produtos refinados é o fogo ou a explosão,

esse risco depende da substância e do local, itens que devem ser avaliados antes das ações de resposta e durante os atendimentos. A explosão apresenta riscos de queima, projeção de fragmentos e sobrepressão atmosférica.



**Figura 18** - Eficiência dos recolhedores em função da viscosidade

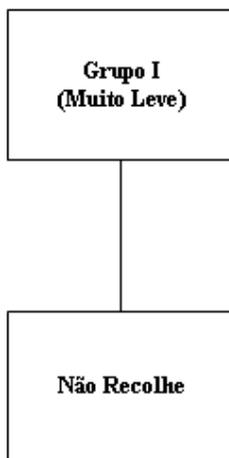
Para que ocorra um incêndio é preciso ter vapor inflamável suficiente, inclusive oxigênio e uma fonte de ignição. Vapor inflamável suficiente pode estar presente inicialmente no derramamento, apesar de que componentes mais inflamáveis tendem a evaporar rapidamente (Leves Voláteis). Todas as fontes inflamáveis precisam ser mantidas fora da área. Todo o equipamento precisa ser intrinsecamente seguro. Cuidado especial precisa ser tomado movimentando combustíveis em barcos/navios, motores, etc.

Onde existe risco de uma atmosfera inflamável, a área deverá ser testada e avaliada, usando um instrumento de leitura instantânea, tal como um explosímetro. Os explosímetros mais simples fornecem leituras entre 0 e 100% do LII (Limite Inferior de Inflamabilidade) que é a menor concentração de gases/vapores combustíveis no ar capaz de gerar uma combustão, com uma fonte de ignição presente. Estes equipamentos deverão estar devidamente calibrados e serem operados por pessoas treinadas, pois assim permitirão a leitura da porcentagem do oxigênio, da proximidade ao limite inferior de explosividade (LEL)

e da presença de gases tóxicos. Os perigos de controle de fogo e explosão e o limite inferior de explosividade (LEL) deverão ser mantidos abaixo de 20%. A entrada em tais áreas não deve ser considerada, até que estejam suficientemente ventiladas e testadas.

A maioria dos explosímetros possui um erro de leitura, em concentrações abaixo de 14 a 16% de oxigênio. Por isso, deve-se utilizar junto com o explosímetro um medidor da concentração de oxigênio ou utilizar então um oxi-explosímetro. Devemos sempre considerar a direção do vento, caso tenhamos que nos aproximar de nuvens de gases, vapores ou névoas. Sempre devemos nos aproximar a barlavento. Estas nuvens são comuns próximos a separadores de água e óleo e em áreas de refinarias.

Existem fotoionizadores (PID) que detectam a presença de vapores tóxicos orgânicos e alguns inorgânicos, indicando a leitura qualitativa direta de muitos produtos. São muito úteis para uma avaliação ambiental mais precisa.



**Árvore 17** – Escolha do recolhedor para óleos do grupo I.

#### 7.4.5 Árvore de Decisão para escolha do melhor recolhedor para óleos do Grupo II

Os óleos do Grupo II (Árvore 18) também formam atmosfera explosiva. A decisão de recolhimento deve ser baseada nos resultados obtidos pela leitura dos oxi-explosímetros. Para este tipo de trabalho muitas vezes são utilizadas embarcações classificadas como OSRV (Oil Spill Recovery Vessel), preparadas com equipamentos intrínsecamente seguros.

Os recolhedores do tipo oleofílicos são os mais comumente utilizados para recolher este tipo de óleo. Geralmente os sistemas oleofílicos são rotacionais tais como escovas,

discos, tambores, e a regulagem da velocidade de giro (RPM) irão variar de acordo com a viscosidade do óleo e de como este está aderindo ao sistema.

Os vertedores também podem ser usados para este tipo de óleo, mas para que haja eficiência e uma boa relação entre óleo e água, é necessário que se tenha uma espessura considerável de mancha. Em locais onde existem brilhos de arco-íris e brilho de prata, a eficiência é muito baixa.

Os recolhedores a vácuo também podem ser usados, mas cuidados adicionais devem ser tomados para que o local onde o óleo esteja sendo armazenado não corra o risco de uma explosão.

#### 7.4.6 Árvore de Decisão para escolha do melhor recolhedor para óleos do Grupo III

Para este tipo de óleo (Árvore 19) os recolhedores oleofílicos também são indicados. Muitas vezes existe a possibilidade de escolha de cerdas de uma escova mais dura ou mais macia, de acordo com a viscosidade. Estes recolhedores não vão funcionar muito bem para óleo em estágios avançados de intemperismo, devido à perda da aderência do óleo.

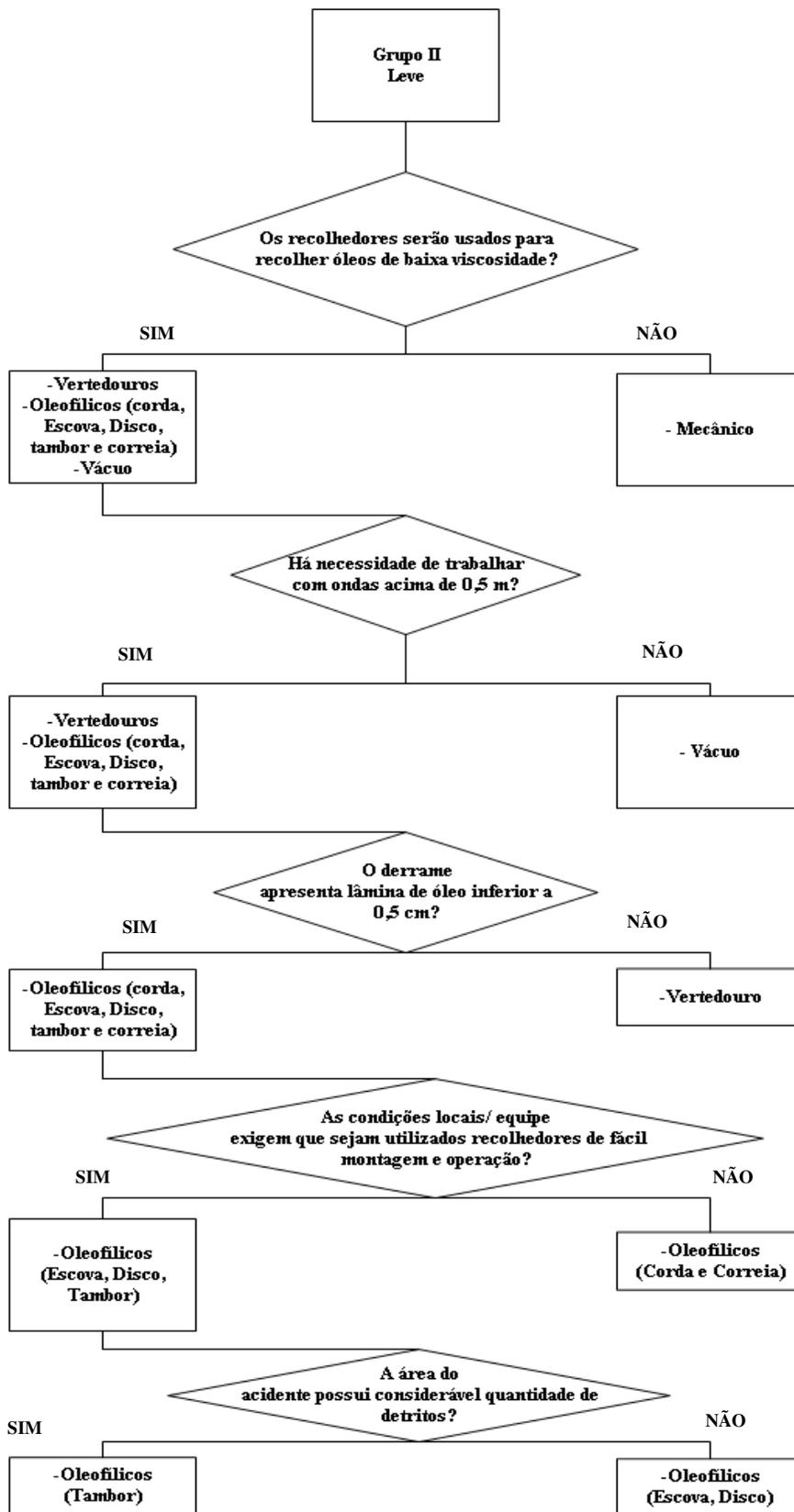
Recolhedores do tipo vertedores terão seu rendimento de acordo com o tipo de bomba que estes possuem. A tendência com o passar dos dias e o aumento dos processos de emulsificação e intemperismo do óleo, é que estes percam a eficiência.

Sistemas a vácuo são eficientes para este tipo de óleo, mas perdem a eficiência também com o aumento da viscosidade. Já os recolhedores mecânicos, principalmente os de discos denteados, são aconselháveis quando se inicia o processo de intemperização e emulsificação.

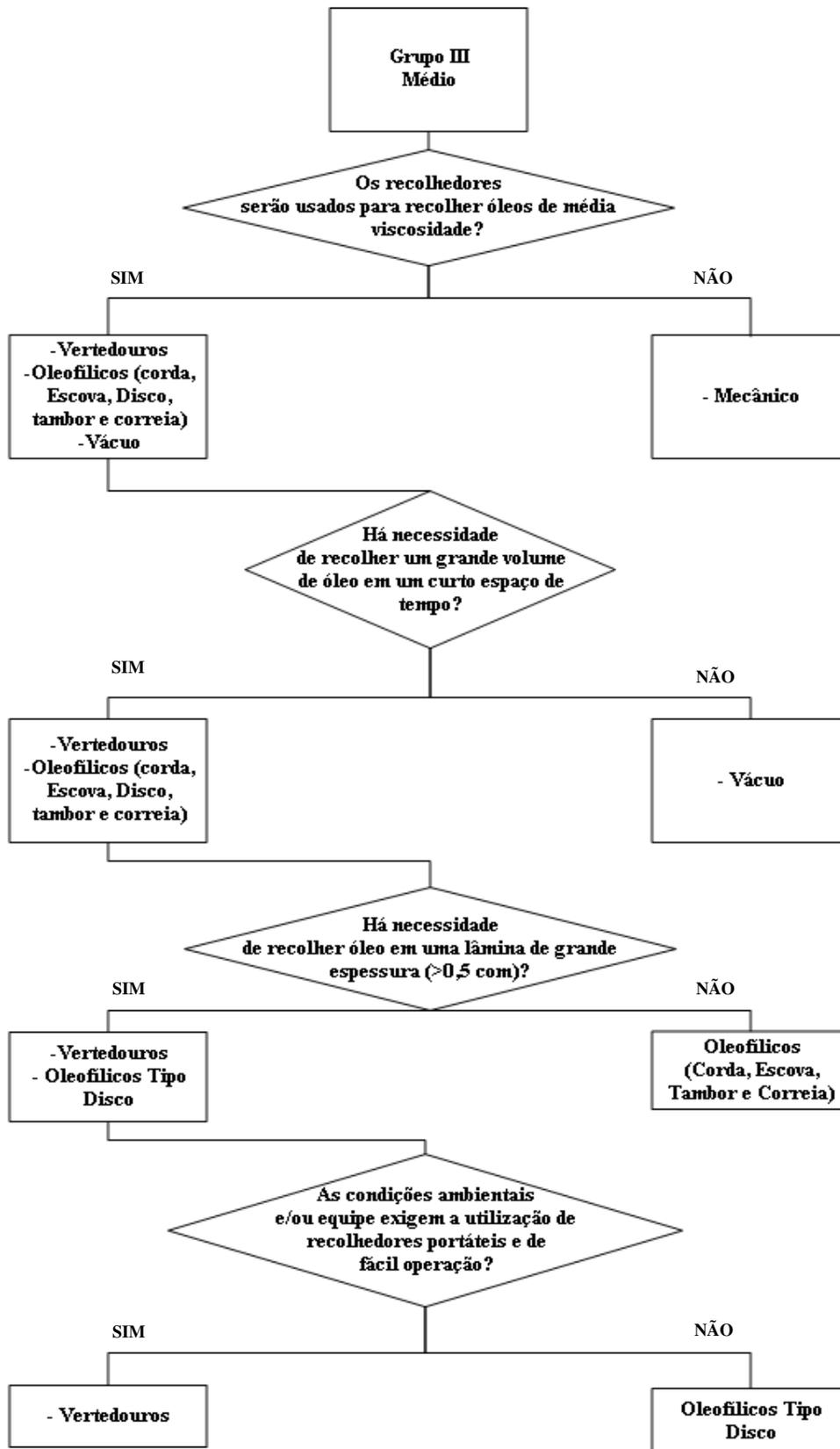
#### 7.4.7 Árvore de Decisão para escolha do melhor recolhedor para óleos do Grupo IV

Os recolhedores mecânicos são os ideais para este tipo de operação, é que à medida que o óleo pesado (Árvore 20) vai intemperizando e emulsificando, aumenta a capacidade efetiva deste tipo de recolhedores.

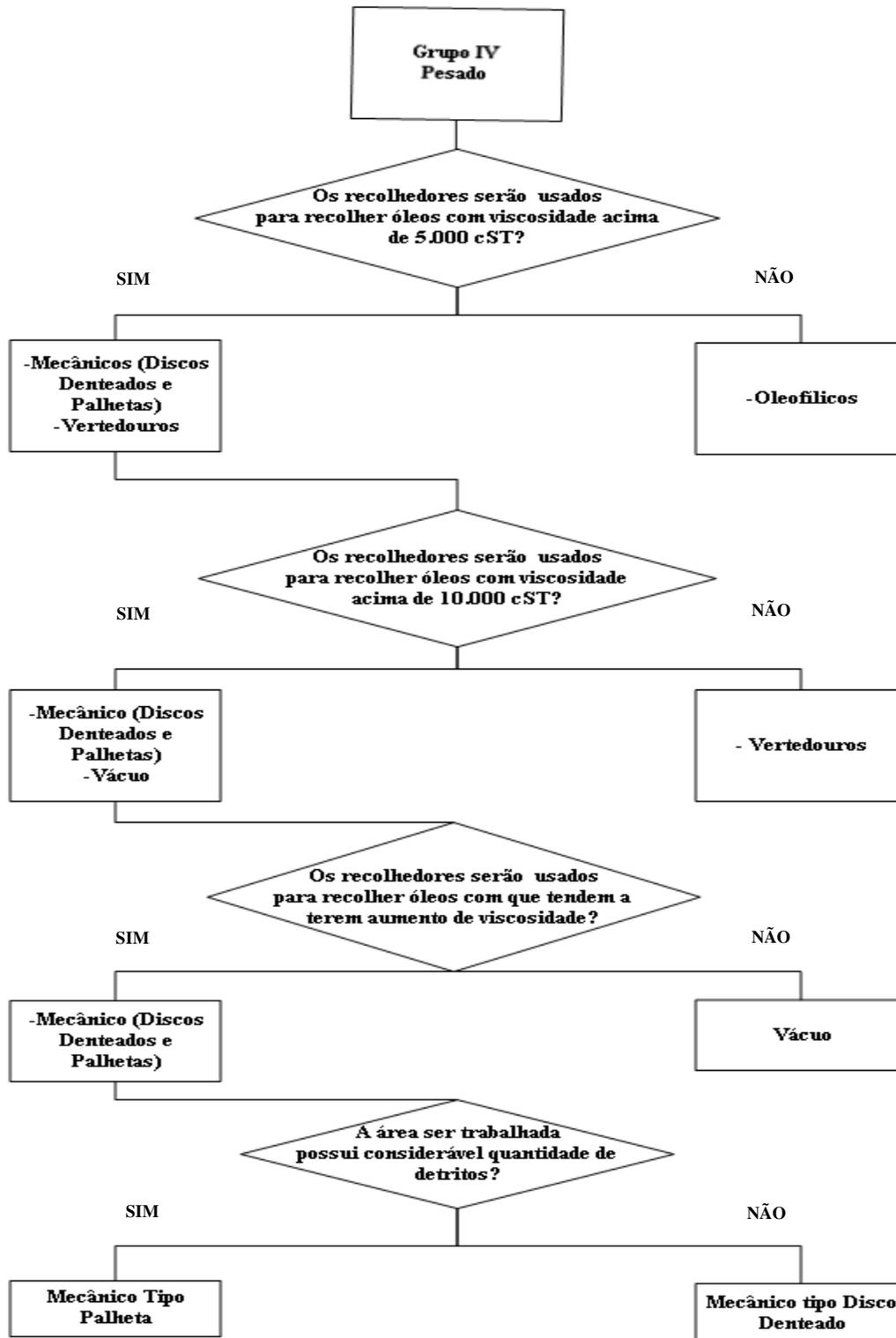
Recolhedores tipo vertedores são eficientes desde que haja a correta bomba acoplada bombas tipo parafuso conseguem triturar o óleo que esteja emulsionado facilitando, assim, o bombeio, também são usadas bombas tipo lóbulo e engrenagem. Algumas vezes podem ser usadas substâncias desemulsificadoras para facilitar o bombeio deste óleo pesado e existem sistemas que aquecem a água a fim de diminuir a viscosidade.



Árvore 18 – Escolha do recolhedor para óleos do grupo II



Árvore 19 – Escolha do recolhedor para óleos do grupo III



Árvore 20 – Escolha do recolhedor para óleos do grupo IV

## 7.5 Dispersantes Químicos

Consideremos alguns dos piores e mais penosos efeitos dos grandes derrames de óleos. Fauna moribunda coberta de óleo; mariscos afogados na fendas das rochas; manguezais cheios de óleos e árvores sufocadas (recobertas).

Vale a pena considerar qualquer método de resposta que possa ajudar a minimizar esta destruição. Os dispersantes são uma opção desse tipo. Ao romper as manchas, podem suavizar os efeitos associados à sufocação e recobrimento por óleo. Existem claras provas científicas que demonstram que em alguns casos podem reduzir os danos biológicos. Sem dúvida, os dispersantes não são uma panacéia. Temos que ter uma visão equilibrada sobre quando é apropriado utilizá-los e quando não é, com referência, em particular, às preocupações ambientais (IPIECA, 2001).

O Brasil promulgou a Convenção Internacional sobre Preparo, Resposta e Cooperação em Caso de Poluição por Óleo, assinada em Londres, Reino Unido em 1990 (OPRC, 1990), através do Decreto No. 2.870, de 10 de dezembro de 1998. O presente texto está fundamentado na Resolução CONAMA nº 269, de 14 de setembro de 2000, que trata da regulamentação para o registro e o uso de dispersantes químicos, que é uma das técnicas viáveis de combate de incidentes de poluição por óleo em ambientes marinhos. No entanto, em casos reais, faz-se necessário o cumprimento integral do preconizado na Resolução em tela. Portanto, “em nenhum caso, situação ou circunstância”, o presente texto pode ser aplicado em substituição a Resolução CONAMA nº 269.

Assim, entre outras atividades a serem implementadas para dar suporte aos Planos de Emergência Individual e Contingência, destaca-se como de fundamental importância a Regulamentação para o uso de Dispersantes Químicos, pois, trata-se de uma técnica internacionalmente reconhecida para resposta aos derrames de óleo no mar. Alguns trabalhos científicos indicam sua utilização também para limpeza costeira (Clayton *et al*, 1997).

Dispersantes são formulações químicas de natureza orgânica, destinadas a reduzir a tensão superficial entre o óleo e a água, visando auxiliar a dispersão do óleo em gotículas no meio aquoso. São constituídos por ingredientes ativos, denominados surfactantes, cujas moléculas são compostas por uma cadeia orgânica, basicamente apolar, com afinidade por óleos e graxas (oleofílicas) e uma extremidade de forte polaridade, com afinidade pela água

(hidrofílica). Além dos surfactantes, os dispersantes também são constituídos por solventes da parte ativa que permitem a sua difusão no óleo.

Os dispersantes químicos são, potencialmente, aplicáveis em derrames de óleo, visando à proteção de recursos naturais e sócio-econômicos sensíveis, como os ecossistemas costeiros e marinhos. Sua aplicabilidade, entretanto, deve ser criteriosamente estabelecida. Deve ser aceita somente se resultar em menor impacto ambiental, quando comparado com os efeitos causados por um derrame sem qualquer tratamento ou empregado como opção alternativa e/ou adicional à contenção e recolhimento do óleo, no caso de ineficácia destas ações de resposta.

A eficiência dos dispersantes, entre outros fatores, está relacionada ao estágio de intemperização do óleo no mar (CONAMA 269), pois, óleos intemperizados tornam-se mais viscosos e podem também sofrer emulsificação, fatores que diminuem a eficiência desses agentes químicos.

Portanto, quando pertinente, a aplicação de dispersantes químicos (Figura 19) deve ser realizada, obrigatoriamente nas primeiras 24 horas seguintes ao derrame. Esta é a janela de máxima oportunidade. Quando um dispersante é aplicado sobre uma mancha, as gotículas de óleo são circundadas pelas substâncias surfactantes, estabilizando a dispersão e ajudando a promover a rápida diluição pelo movimento da água. O dispersante reduz a tensão superficial entre a água e o óleo, auxiliando a formação de gotículas menores, as quais tendem tanto a se movimentar na coluna d'água, quanto permanecer em suspensão na superfície, acelerando o processo natural de degradação e de dispersão, favorecendo, desta forma, a biodegradação do óleo no meio ambiente (Davies *et al*, 2001).

Os dispersantes, em geral, têm pouco efeito sobre óleos viscosos, pois há uma tendência do óleo se espalhar na água antes que os solventes e agentes surfactantes, componentes dos dispersantes penetrem nas manchas. A maioria dos produtos atualmente disponível possui efeito reduzido se aplicados quando já iniciado o processo de intemperização do óleo ou formação de emulsões viscosas (mousse).

As condições estabelecidas na Resolução CONAMA nº 269, para servir como subsídio na tomada de decisão dos coordenadores de emergências relacionadas aos incidentes envolvendo poluição por óleo, são:

- A definição da área geográfica (área de risco direto e indireto);
- A definição da distribuição e da sazonalidade das espécies de cada ecossistema que compõe as áreas expostas aos lançamentos de óleo;
- A identificação dos recursos socioeconômicos em risco;
- A definição da geomorfologia costeira e da relativa sensibilidade dos ambientes ao óleo;
- A obtenção de dados meteorológicos e climatológicos da área;
- A obtenção de dados hidrodinâmicos e hidrográficos regionais;
- A cartografia dos dados naturais (sítios arqueológicos, costões, etc.) e socioeconômicos, onde a aplicação de dispersantes é recomendável ou não.



**Figura 19** – Aplicação de Dispersantes Químicos (Foto: Mark Francis).

#### 7.5.1 Critério para a Tomada de Decisão de Uso e Restrições

A utilização de dispersantes químicos somente poderá ocorrer quando o produto for homologado pelo Órgão Ambiental Federal competente, em consonância com a Convenção sobre a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS, 1974). Isso quando necessária a adoção de medidas emergenciais decorrentes ao derrame de óleo, com risco iminente de incêndio e perigo à vida humana no mar ou regiões costeiras, envolvendo instalações

marítimas ou navios próprios ou de terceiros. Ou quando outras técnicas de resposta, tais como contenção e remoção, não sejam eficientes, tanto em função das características do óleo, do volume derramado, quanto das condições ambientais incidentes.

Um caso especial é quando houver situações em que a mancha de óleo estiver se deslocando para áreas classificadas como ambientalmente sensíveis. Neste caso, os dispersantes devem ser aplicados a no mínimo a 2.000m da costa (inclusive de ilhas) ou a distâncias menores do que esta - caso sejam atendidas as profundidades maiores que as isóbatas encontradas ao longo do mar territorial, conforme definido a seguir:

- Do Cabo Orange a Foz do Rio Parnaíba - 10m;
- Da Foz do Rio Parnaíba ao Cabo Calcanhar - 15m;
- Do Cabo Calcanhar a Ilhéus - 20m;
- De Ilhéus ao Chuí - 15m.

Podemos aplicar dispersantes quando houver situações em que a aplicação seja mais eficiente e vantajosa na minimização do impacto global de um derrame que possa atingir áreas ambientalmente sensíveis. Deste modo, pode-se assegurar que o óleo e a mistura óleo/dispersante não comprometam o ambiente costeiro e/ou mesmo outros ativos ambientais importantes, ou quando em situações específicas não previstas nos itens anteriores, desde que devidamente autorizada pelo órgão ambiental competente.

#### Restrições de Uso

Os dispersantes químicos não poderão ser utilizados em:

- a) Áreas costeiras abrigadas, tais como corpos d'água semi-fechados, com baixa circulação e pouca renovação de águas, onde o dispersante químico e a mistura oleosa possam permanecer concentrados ou ter longo período de residência;
- b) Estuários, canais, costões rochosos, praias arenosas e lodosas, entre outras. Áreas sensíveis como manguezais, marismas, recifes de corais, lagunas, restingas, baixios expostos e áreas legalmente protegidas também estão inclusas na lista;
- c) Áreas classificadas nos mapas de sensibilidade como sendo de:
  - ressurgência;
  - desova e berçário natural;

- espécies ameaçadas de extinção;
  - populações de peixes e/ou frutos do mar de interesse comercial ou ainda de criadouros artificiais de peixes, crustáceos ou moluscos (aqüicultura);
  - migração e reprodução de espécies (mamíferos, aves, tartarugas);
  - recursos hídricos para o uso de abastecimento humano e fins industriais.
- d) Óleos ou derivados que possuam viscosidade dinâmica inferior a 500 mPa.s ou superiores a 2.000 mPa.s a 10<sup>0</sup>C, pois a eficiência dos dispersantes sobre este tipo de óleo é baixa, muito baixa ou nula;
- e) Processo de formação de emulsões (mousse), ou ainda, quando o processo de envelhecimento da mistura de óleo for visível;
- f) Situações nas quais se deseja manter apenas a estética dos locais e corpos hídricos atingidos;
- g) Limpeza de instalações portuárias, em qualquer tipo de embarcação, bem como em equipamentos utilizados na operação de resposta ao derrame de petróleo ou derivados.

#### 7.5.2 Métodos de Aplicação, Supervisão da Operação

Os métodos de aplicação dos dispersantes no tratamento de manchas de óleo no mar devem ser escolhidos levando-se em consideração uma série de fatores, entre os quais merecem especial atenção:

- O tipo e volume de óleo a ser disperso;
- O grau de intemperização do óleo, no momento da aplicação;
- As características oceanográficas e meteorológicas incidentes durante a aplicação e períodos seguintes;
- O tipo de dispersante a ser utilizado;
- Os equipamentos disponíveis para a aplicação.
- Espessura da Mancha

#### Observações gerais da operação

Deve-se sempre realizar o monitoramento visual, fotográfico e ambiental. O acompanhamento e avaliação da operação (comportamento da mancha dispersada, desaparecimento, afloramento após aplicação, formação de placas/pelotas) correlacionando os

respectivos posicionamentos das manchas, datas e horários, devem ser observados. Deve-se observar se está havendo coalescência.

Todos devem estar cientes das responsabilidades, do nome do Coordenador Geral da operação e do nome de outros eventuais responsáveis. Deve-se também saber os recursos mobilizados, como pessoal, material e financeiro.

O planejamento e a supervisão da operação.

Os procedimentos iniciais de resposta devem ser seguidos para que se tenha sucesso. Esta etapa é muito importante e se for mal executada pode comprometer toda a operação.

- Definição das manchas prioritárias a serem tratadas;
- Elaboração do plano de vôo;
- Orientação da aeronave ou embarcação que irá aplicar o dispersante, tanto durante a sua aproximação quanto ao longo da operação que, preferencialmente, deverá ser iniciada pelas extremidades das manchas mais densas para restringir o espalhamento do óleo;
- Supervisão da aplicação do dispersante sobre as manchas, visando uma aspersão uniforme do produto;
- Orientação da embarcação ou aeronave que tiver aplicado o produto, de modo que a mesma mantenha ou corrija o seu posicionamento em relação às manchas por causa da possibilidade de alterações na velocidade e sentido dos ventos e correntezas marítimas;
- Acompanhamento de manchas em processo de dispersão, observando a eventual fragmentação e o sentido de deslocamento das mesmas. Estas informações poderão ser utilizadas em modelos matemáticos de deriva de manchas.

### 7.5.3 Monitoramento Marítimo e Ambiental

Durante a aplicação de dispersantes químicos, as inspeções deverão ser feitas, preferencialmente, com lanchas rápidas que viabilizam navegar no entorno das manchas em curto espaço de tempo. Além disso, se não forem turbo propelidas ou não tiverem outras restrições técnicas, as mesmas também poderão auxiliar na agitação mecânica das manchas de óleo onde foram aplicadas dispersantes.

Estes monitoramentos também são recomendados após a aplicação do dispersante. O objetivo deste procedimento é acompanhar a tendência do deslocamento das plumas de óleo dispersas na coluna d'água, de acordo com a direção predominante do vento e da correnteza marinha incidente.

#### Monitoramento Ambiental

Recomenda-se coletar amostras de sedimentos, de água, de plâncton e de organismos marinhos (frutos do mar e quaisquer outras espécies criadas em aquicultura). Também é importante amostrar peixes confinados em cercos de pesca ou redes de espera nas regiões afetadas pelo óleo. Animais bentônicos, como ostras e mexilhões, são os verdadeiros bioindicadores de poluição por óleo.

É conveniente realizar, pelo menos, três campanhas de amostragem, sendo a primeira nos dias seguintes à aplicação do dispersante e as demais respectivamente 30 e 90 dias após a realização desta operação. O monitoramento ambiental deverá contemplar a análise química de hidrocarbonetos individuais, por cromatografia gasosa ou líquida, na superfície, na coluna d'água, e no sedimento, tanto da área onde foi feita a dispersão da mancha de óleo quanto em local neutro, distante, para servir de referência e controle de eventuais contaminações.

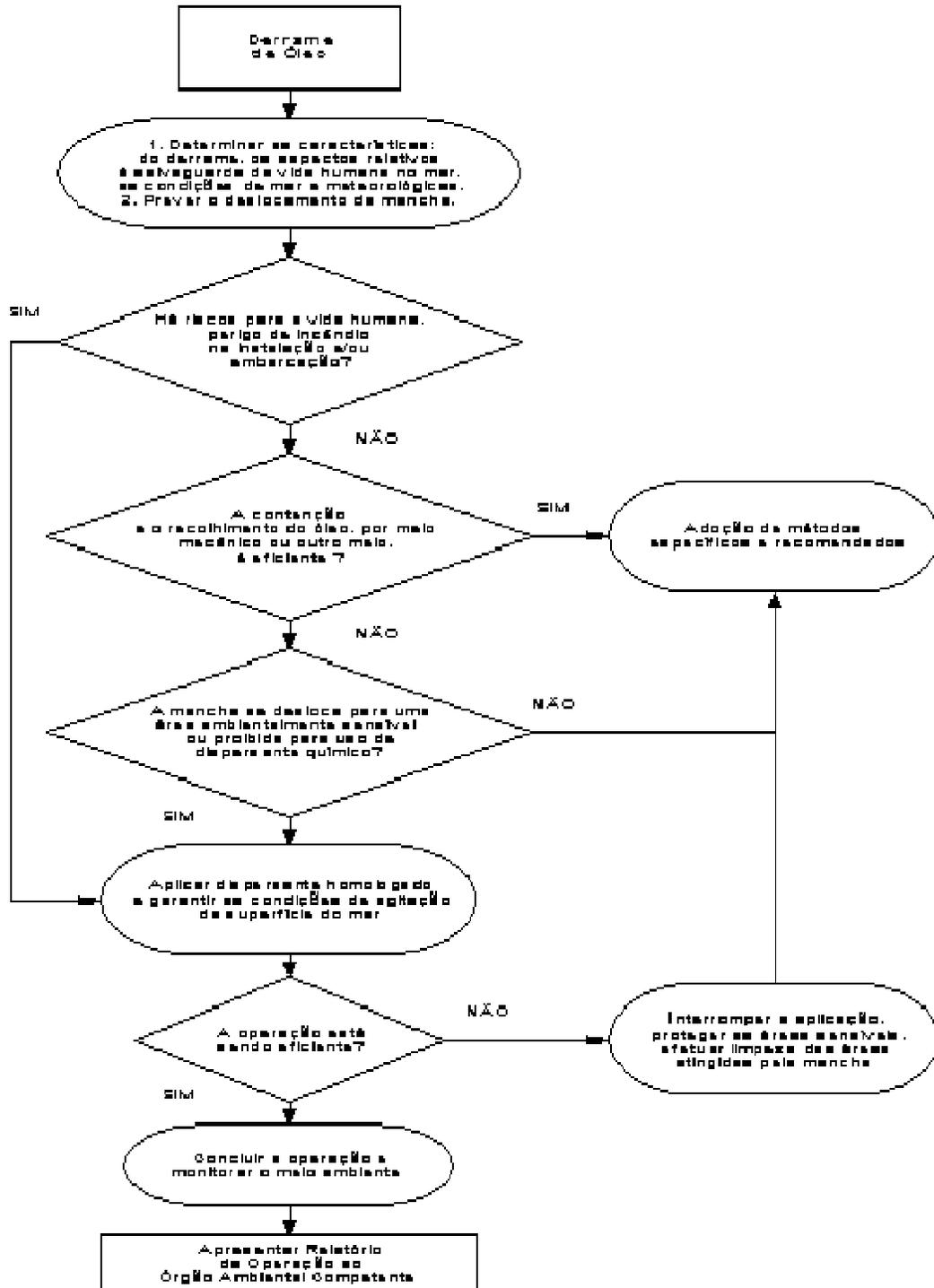
Como parâmetro biológico, deve-se analisar a presença dos componentes do dispersante aplicado em organismos aquáticos, como por exemplo, moluscos e peixes. A Resolução CONAMA 269 prevê que o responsável pela aplicação de dispersantes deverá apresentar ao órgão ambiental um plano detalhado contemplando os seguintes itens:

- Método de coleta e preservação de amostras;
- Programa de amostragem (curto, médio e longo prazo);
- Responsáveis pelas coletas e análises;
- Metodologia analítica e parâmetros químicos e biológicos;
- Apresentação de resultados.

#### 7.5.4 Árvore de Decisão para Aplicação de Dispersantes Químicos

A árvore de decisão em questão (Árvore 21) tem como finalidade auxiliar os coordenadores de operações de combate e controle de incidentes de poluição por óleo, quanto

à necessidade e/ou viabilidade de se empregar dispersantes químicos homologados nas ações de resposta a eventos desta natureza. Tal árvore não foi elaborada pelo autor do presente trabalho, mas extraída da Resolução CONAMA 269.



Árvore 21 – Tomada de Decisão Sobre Uso de Dispersantes (Fonte: CONAMA 269, 2000).

## **7.6 Disposição final de resíduos oleosos e técnicas de remediação**

A maior parte do petróleo mundial se transporta pelo mar, colocando o meio ambiente marinho em risco. Os maiores derrames geralmente ocorrem em mar aberto, e a ação das correntes, ventos e das marés resulta, freqüentemente, em impacto do derrame de óleo na costa. Antes de implementar qualquer plano de manuseio de resíduo, devem-se levar em consideração as opções disponíveis.

Um modelo útil na hora de tratar os resíduos que se originam a partir de qualquer fonte é a “hierarquia dos resíduos”. Utilizam-se princípios de redução de resíduos, reutilização e de reciclagem para minimizar a quantidade de resíduos produzidos, reduzindo, deste modo, os custos econômicos e ambientais e garantindo o cumprimento dos requisitos legais (IPIECA, 2004).

### **7.6.1 Planejamento da destinação dos resíduos gerados**

Deve-se procurar alternativas mais convenientes e cuidados especiais adequados, para o correto gerenciamento de resíduos oleosos. São medidas alternativas: Minimização de Resíduos, Tratamento dos Resíduos e Disposição Final. Cabe lembrar que, para os resíduos sejam tratados ou utilizados em quaisquer das atividades acima, é necessário manuseá-los da mesma forma, em consonância com as normas vigentes.

Considera-se também, na estratégia de combate ao derrame, como será a retirada dos resíduos do ambiente contaminado. Deve-se sempre pensar na estratégia que irá facilitar a remoção de resíduos. Os diferentes ambientes e as diferentes técnicas de limpeza geram diferentes tipos de resíduos como tambores e EPIs contaminados. A operação de resposta no mar contamina equipamentos, embarcações, a água, vegetação, material absorventes, animais mortos. Quando o óleo chega à costa contamina ainda sedimento, rochas, vegetação e RSU (Resíduo Sólido Urbano). Na queima do óleo, técnica que é proibida no Brasil, gera-se resíduo de óleo queimado.

Caso haja possibilidade, devemos fazer uma triagem dos materiais contaminados, a fim de selecionarmos o melhor destino de descarte. Devemos buscar apoios nas secretarias de meio ambiente e nas prefeituras locais.

Toda empresa deverá montar um sistema próprio e específico para a realização destas atividades que inclua: treinamento de pessoal, segregação dos resíduos, acondicionamento, transporte interno, armazenamento e procedimentos de emergência.

#### 7.6.2 Minimização de resíduos

A minimização da geração de resíduos compõe-se de práticas adotadas para prevenir a geração de resíduos oleosos e a sua disposição final. Esta prevenção é feita utilizando-se técnicas que reduzem o volume ou a toxicidade dos resíduos e, portanto, sua carga poluidora.

Para implantação de um programa de minimização de resíduos deve-se, primeiramente, realizar estudos para conhecimento e entendimento de todas as etapas da emergência. A implantação deste programa trará vários benefícios ambientais e gerenciais, como redução dos custos. As medidas recomendadas para a minimização vão desde atividades a nível organizacional, o treinamento, até alterações de escolha da estratégia de resposta.

As 5 etapas são:

Reduzir (Resposta Rápida, Cerco próximo à origem) – Durante os derramamentos de óleo objetiva-se garantir que o material mínimo seja usado ou contaminado durante o processo.

Reutilizar – Uma vez limpo, o material deve ser reutilizado, como nos casos de barreiras e mantas absorventes de polipropileno que podem ser centrifugas e/ou espremidas em equipamento próprio, e EPIs, que podem ser limpos e higienizados industrialmente em empresa especializada e credenciada para tal fim.

Recuperação – Após o óleo ter sido coletado durante a operação, podemos levar este resíduo para uma refinaria para a conversão em outro produto.

Reciclar – Materiais descontaminados ou RSU devem ter um gerenciamento à parte e podem seguir o processo normal de envio para aterros industriais e usinas de reciclagem.

Segregar - A segregação impede a ocorrência de reações químicas diversas, evitando danos maiores e imprevisíveis ao meio, evitando a possibilidade de formação de gases tóxicos ou volatilização de substâncias tóxicas, o que aumentaria a poluição do ar além de favorecer a reciclagem e diminuir os custos com o tratamento, transporte e disposição.

As rotas segregadas da eliminação têm que estar disponíveis. Este processo é importante nos primeiros estágios de uma resposta de derrame de óleo. Deve-se classificar e segregar os resíduos na fonte, caso seja possível que este resíduo (Areia) volte para seu local de origem. Deve-se considerar a Análise de Benefício Líquido para esta operação.

### 7.6.3 Acondicionamento, Identificação, Quantificação, Armazenamento e Transporte

Antes do acondicionamento devem-se classificar os resíduos, prever as quantidades geradas e forma de remoção (por homem ou empilhadeira mecânica) e forma de disposição.

As embalagens devem ser resistentes ao óleo e ao calor, ser escolhidas cuidadosamente, devem estar em perfeitas condições. Devem ser colocadas acima da linha de maré alta para evitar serem arrastadas pelas ondas. Em regiões sujeitas a calor intenso, as bolsas plásticas devem ser protegidas da exposição prolongada à luz solar. Deve-se avaliar as características dos recipientes quanto à finalidade a que se destinam.

Os recipientes Devem ser constituídos por material inerte, não adsorver em suas paredes os constituintes dos resíduos, possuir resistência e durabilidade e ter dimensões e forma adequadas ao tipo de transporte. Utilizam-se, bastante, nas operações de limpeza, tambores metálicos, ``Big Bags``, sacos plásticos resistentes, além dos *Oil Bags e Fast Tanks*.

Todo o material deve ser etiquetado. Esta etiqueta deve ser resistente à chuva, deve apresentar informações sobre o tipo de resíduo e peso aproximado, além do nome da operação, o local proveniente do resíduo e a data. Ao fim de cada dia devemos saber o peso do material recolhido e uma idéia do volume para que possamos planejar o transporte e a disposição final.

#### Transporte

As fontes de transportes devem ser identificadas no plano de contingência e nos acordos feitos preliminarmente. Durante as operações de limpeza em terra e mar, resíduos terão que ser transportados.

O tratamento dentro de todo o local operacional requer o uso de veículos pequenos tais como caminhões a vácuo, caminhões- truck, caminhões- munck, pick-ups e às vezes até helicópteros (IPIECA, 2004).

## Tipos de armazenamento provisório (Fast Tanks)

No mar usam-se tanques das embarcações, balsa, ``Oil Bags`` de volumes variados e tanques aquecidos. Em terra, usam-se tanques portáteis, ``Big Bags`` revestidos, sacos, tambores, piscinas impermeabilizadas.

## Local de Disposição Provisória

No interesse da melhor prática do local de armazenamento escolhido, os locais de armazenamentos provisórios devem estar em uma posição topográfica e geológica apropriada para suportar um local de armazenamento de resíduos.

Esta área deve ser autorizada pelo órgão de controle ambiental, à espera da recuperação, reciclagem, tratamento ou disposição final. O armazenamento não poderá ser feito aleatoriamente. Um Projeto de armazenamento deve ser implantado, em conformidade com a Portaria Minter nº 124 de 20/08/80, sendo executado conforme as condições estabelecidas nas seguintes normas:

- a) ABNT 1183 - Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos – Procedimento- ABNT
- b) ABNT 1264 - Armazenamento de Resíduos Sólidos Classe II A e II B – ABNT

A contaminação secundária é a propagação de óleo através de pessoas, transportes e equipamentos à área descontaminada. Isto pode ser evitado, controlando-se o impacto do derrame, através de:

- Designar as zonas “Quentes” e “Frias” em locais de trabalho.
- Checar, com regularidade, todas as bombas, conexões e tanques de armazenamento.
- Descontaminar os equipamentos e pessoal antes de deixar o local de trabalho.
- Cobrir e descontaminar todos os veículos dedicados ao transporte de resíduos antes de deixar o local de trabalho.

## Volume de Óleo Derramado x Quantidade de Resíduos Gerados

Além dos impactos ambientais, sociais e econômicos, uma das maiores dificuldades são as grandes quantidades de resíduo geradas em um pequeno período. Dados históricos mostram que os derrames de óleo que atingem a costa podem, em casos extremos, produzir

mais de 30 vezes o volume original do derrame (IPIECA, 2004).

Existem diferentes razões para explicar a quantidade de resíduo gerado e também é evidente que um número significativo de pequenos derrames gerem grandes quantidade de resíduos. O manuseio de resíduo gerado no derrame deve ser considerado de alta importância.

#### 7.6.4 Tratamento e Destinação Final dos Resíduos Gerados

Depois que o resíduo foi segregado e armazenado em um recipiente apropriado no local, estará sendo transportado, geralmente, aos locais para destinação final.

#### Co-Processamento

O co-processamento é reaproveitamento de resíduos oleosos na indústria de cimento e na indústria de cerâmica. O reaproveitamento consiste em reutilizar o resíduo com a mesma finalidade ou outra, sempre de maneira a minimizar o impacto ambiental.

O reaproveitamento de resíduos gerados na indústria, contendo elementos orgânicos ou inorgânicos, como combustível na indústria de cimento, ou como matéria prima na indústria de cerâmica, é uma tecnologia desenvolvida recentemente.

Co-processamento é a utilização no processo de fabricação de cimento de resíduos produzidos por outras indústrias (Santos, 1995). Uma das etapas do processo é a produção de clínquer, que é o produto da mistura de argila com calcáreo, aquecida até 1450 ° C, e posteriormente resfriada.

São nos fornos de clinquerização que se aproveitam, como combustíveis, resíduos descartados por indústrias geradoras, como serragem de madeiras, óleos usados, borras de tinta, solvente de indústrias petroquímicas e químicas e pneus. Ou seja, à medida que o cimento vai sendo produzido, vários tipos de resíduos industriais vão sendo reaproveitados (incorporados ao cimento), inertizados (resíduos inorgânicos), ou destruídos termicamente (resíduos orgânicos). Este processo poderia ser feito com os resíduos orgânicos e inorgânicos oleosos provenientes de uma operação de limpeza de costa.

Os hidrocarbonetos passam a fazer parte do cimento, ou são aprisionados por dispositivos de controle de poluição do ar. Testes efetuados indicam que as indústrias de

cimento geram a mesma quantidade de emissões ao ar, utilizando ou não resíduos em seu processo. Portanto, o co-processamento de resíduos em fornos de cimento fornece duas vantagens ao meio ambiente, pois elimina resíduos que seriam descartados, e ainda propicia a redução no uso de recursos naturais, economizando combustíveis fósseis não renováveis, como carvão mineral e óleo diesel. O processo de co-processamento tem sido considerado como destino final de resíduos.

Outros resíduos aproveitados na indústria cerâmica são os resíduos oleosos da indústria de petróleo, conhecidos como borras de petróleo que, normalmente, são dispostos em diques ou lagoas de estabilização (Amaral, 1995). Com o objetivo de aumentar a plasticidade e trabalhabilidade das argilas, a adição de óleo usado de cárter de veículos já vem sendo utilizada.

A utilização de resíduos oleosos de petróleo se mostrou uma nova alternativa. Experiências realizadas indicaram um aumento na produção de 30 a 80%, dependendo das características da argila e das instalações físicas da fábrica. Além disso, houve uma redução no consumo de energia elétrica, de lenha e também nos custos de manutenção de equipamentos, pois a adição de óleo diminui o desgaste das peças.

Medidas realizadas para verificar aumento na emissão de poluentes nas fases de secagem e queimas indicaram valores inferiores aos padrões de emissão utilizados pela "Environmental Protection Agency" (EPA) dos Estados Unidos. Ensaios de lixiviação e solubilização nas peças fabricadas com a adição de resíduo oleoso indicaram os mesmos índices quando da fabricação de tijolos comuns.

### Incineração

O processo de incineração começou a ser desenvolvido há alguns anos, objetivando a queima de resíduos domiciliares e patogênicos. Trata-se de um tratamento que utiliza a decomposição térmica via oxidação, tornando assim o resíduo tóxico ou atóxico, menos volumoso, ou eliminando-o totalmente. A possibilidade de incinerar um resíduo, e como isso será efetuado, dependem da caracterização do resíduo. É necessário saber:

a) sobre o processo industrial: matérias-primas utilizadas e produtos fabricados; fluxograma do processo industrial, indicando os pontos de geração de resíduos;

b) sobre o resíduo: quantidade, estado físico, poder calorífico, viscosidade (para os líquidos), densidade e porcentagem de sólidos (para as lamas), densidade (para os gases), corrosividade e composição química.

Atualmente este método está sendo utilizado para o tratamento de resíduos perigosos, devido às questões de contaminações no ambiente causadas pela disposição inadequada de materiais tóxicos não degradáveis e altamente persistentes, como os solventes e óleos não passíveis de recuperação, defensivos agrícolas halogenados e vários produtos farmacêuticos. As unidades de incineração podem ser instalações pequenas, projetadas e dimensionadas para um determinado resíduo, e operadas pela própria indústria geradora, ou grandes instalações, para incinerar vários tipos de resíduos.

Quando são incinerados materiais tóxicos ou perigosos, estas instalações necessitam de equipamentos de controle de poluição do ar e dos efluentes, exigindo maiores investimentos. Os resíduos a serem incinerados podem ser sólidos, líquidos ou pastosos. As suas características e seu comportamento durante a combustão determinam como devem ser misturados, estocados e introduzidos na zona de queima. A vantagem da incineração é que não é necessário retirar o material do local, eliminando os gastos com transporte. Como desvantagem, além do alto custo, destaca-se a dificuldade de controle da operação para evitar a emissão de poluentes (CETESB, 2002).

Alguns líquidos poderão ser facilmente destruídos, enquanto outros, que não mantêm a combustão, devem ser inseridos através de uma corrente de gás quente ou borrifados diretamente sobre a chama. Nesta situação, pode ocorrer um fenômeno químico denominado de craqueamento, onde novas substâncias tóxicas se formam. Controles especiais são então requeridos como a temperatura a ser atingida, e o tempo de exposição à mesma.

O processo é composto basicamente por 5 sistemas com funções de preparo do resíduo para a queima, combustão do resíduo (fase onde o material torna-se não tóxico), tratamento dos gases de saída, tratamento de efluentes líquidos, acondicionamento e disposição dos resíduos sólidos gerados no processo de queima e nos equipamentos de controle de poluição do ar.

Existem vários tipos de fornos. Os fornos rotativos permitem incinerar resíduos sólidos, líquidos, e pastosos, relativamente volumosos. Podem ser operados a temperaturas

superiores a 1400<sup>0</sup> C, sendo isto importante para destruição de compostos estáveis e altamente tóxicos. Os outros tipos de fornos, menores, podem ser utilizados para lodos de esgotos ou para líquidos com partículas sólidas.

#### Incineração em Equipamentos Industriais

Alguns tipos de resíduos podem ser queimados em fornos industriais ou em caldeiras industriais (não as residenciais, comerciais ou institucionais). São considerados fornos industriais, os dispositivos fechados que utilizam chama de combustão e fazem parte do processo de fabricação. São os fornos de cimento, de cal, de coqueria, altos-fornos, fornos para agregados.

A utilização de caldeiras industriais para a queima de resíduos apresenta a vantagem da economia de combustível e uma alta eficiência na destruição. Uma gama grande de resíduos pode ser destruída de maneira segura nestas caldeiras, desde que caracterizados e o processo controlado. São os óleos, solventes aromáticos e alifáticos, e resíduos líquidos contendo fenóis e lodos. Os que contiverem organoclorados, enxofre, fósforo ou metais pesados deverão ter um controle poluidor eficiente da emissão para a atmosfera.

#### Queima no Local

Podemos pensar nesta estratégia quando estivermos em locais remotos, mas são poucas as cidades no Brasil que possuem alguma opção de destinação de resíduos oleosos. Pode-se montar no local com barris de aço de 200 litros. A combustão será auto-sustentável, caso o material de alimentação contenha ao menos 25% de óleo e não mais do que 50% de água. A durabilidade da unidade talvez possa ser bastante curta, porém, deverão ser capaz de tratar ao menos algo entre 100 e 600 toneladas de areia contaminada.

Este tipo de queima em tambores “não controlada” e incompleta liberará para atmosfera uma grande quantidade de compostos nitrosos e sulfurados, gerando uma maior quantidade de monóxido de carbono que é muito mais tóxico que o dióxido. Em tempo de “Efeito Estufa” esta técnica trará grande repercussão para a opinião pública, apesar de que, em termos de volume liberado na atmosfera não ser tão grande.

O incinerador móvel instalado em campo é mais apropriado para os resíduos

classificados como inerte (Classe III) e não inerte (Classe II) contendo entulhos e vegetação. Para a queima dos resíduos classificados como perigosos (Classe I), os incineradores devem ser projetados e operados de modo a atender ao disposto na Norma ABNT NBR 11.175 – Incineração de Resíduos.

Os órgãos de controle ambiental não aceitam a queima de resíduos no próprio local a céu aberto. Por este tipo de queima ser incompleto, vários compostos tóxicos são enviados para atmosfera e em contrapartida, a incineração elimina os custos com transporte. Devemos fazer uma análise ampla do gasto de energia e lembrar que os caminhões que fazem o transporte dos resíduos usam combustíveis e algumas vezes o transporte deverá ser feito entre distâncias com mais de 500 km.

Os fornos para incineração também gastam energia, portanto, está havendo um gasto adicional de energia. As autoridades competentes poderiam fazer uma análise da bacia aérea da localidade, a fim de observar como se comporta a dispersão da pluma de poluentes e, por fim, definir o que fazer com os resíduos.

#### Lavagem de Sedimentos

A técnica de lavagem de areia contaminada por óleo pode ser realizada com reatores que expõem água quente. O resíduo produzido cai em uma seqüência de caixas separadoras água/óleo. Em alguns casos, o sistema de lavagem de areia pode ter melhorado a sua eficiência através da utilização de surfactantes, utilizados para romper as tensões superficiais do óleo. Mas acontece que geramos muitos resíduos, fazendo com que o mesmo fique em solução na forma coloidal. Existem duas formas de aplicação desta técnica: no próprio local (*in situ*) ou em reatores.

A forma *in situ* não é muito aplicada, haja vista a introdução de mais um contaminante no ambiente (Água Quente e/ou Surfactante), como também pela dificuldade de estabelecer condições operacionais seguras. A aplicação desta técnica em reatores como betoneiras, para limpeza da areia retirada das praias contaminadas, tem apresentado resultados satisfatórios em ensaios realizados no atendimento a algumas ocorrências. Nestes ensaios, o resíduo foi misturado a uma solução contendo 0,5% de surfactante, sendo então submetido à agitação. Este método remove mais de 90% do óleo no sedimento, mas o efluente que é gerado precisa de um tratamento especial.

## Aterro Industrial

Resíduos sólidos gerados pela indústria, em sua forma original ou após sofrer alguns dos tratamentos descritos, têm como forma mais comum de disposição final os Aterros Industriais. Entende-se por disposição final de resíduos o depósito dos mesmos em células previamente protegidas e impermeabilizadas. Existem outras maneiras de disposição, ainda pouco difundidas, como os injetando em poços profundos ou depositando-os em minas abandonadas.

Podem-se dispor, em aterros industriais, resíduos que contenham contaminantes que possam vir a sofrer um processo de atenuação no solo. Resíduos inflamáveis, reativos, oleosos, radioativos, orgânicos-persistentes ou que contenham líquidos não são indicados para disposição em aterros industriais.

Portanto, a disposição em aterros industriais exige conhecimento das propriedades e características do solo sobre o qual será depositado o resíduo, bem como das condições hidrogeológicas da região onde será implantado o aterro. Projetos que considerem esses elementos de forma correta evitam a migração de poluentes para a fundação dos aterros, impedindo que os mesmos atinjam os aquíferos subterrâneos e os mananciais, contaminando as águas.

## Estabilização

Os objetivos deste tipo de disposição são

Melhorar as características físicas e de manuseio dos resíduos, reduzir a área de superfície por onde possa ocorrer migração dos poluentes, e restringir a solubilidade ou retirar a toxicidade dos elementos perigosos do resíduo. A estabilização é um pré-tratamento onde os elementos perigosos de um resíduo são transformados, para que se tornem menos tóxicos e menos solúveis. As alterações ocorrem através de reações químicas, que retêm os constituintes tóxicos em polímeros impermeáveis ou cristais estáveis.

A solidificação é um pré-tratamento que produz um bloco de resíduo tratado, aprimorando as características físicas e a estrutura, de modo a facilitar o manuseio, o transporte do resíduo e ainda a sua preservação na forma sólida, pelo tempo necessário à sua

degradação.

A escolha da aplicação de um desses pré-tratamentos irá depender das características físicas do resíduo, composição, quantidade, local de geração e problemas quanto à disposição final. Não é qualquer tipo de resíduo que pode ser submetido esses pré-tratamentos.

Os resíduos perigosos, gerados em grandes quantidades, são indicados para este tratamento. Também alguns não perigosos, como lodos de limpeza de unidades de gaseificação e fluidos de perfuração de poços são estabilizados/solidificados, de modo que possam ser mais facilmente manuseados e seus elementos contaminantes impedidos de poluírem o solo ou águas subterrâneas.

Os processos de estabilização/solidificação são classificados como:

a) fixação inorgânica, onde são adicionados materiais como cimento, cal, silicatos e argilas;

b) técnicas de encapsulamento, onde são empregados termoplásticos como betume, asfalto e polietileno que, quando aquecidos, amolecem, e resfriados, endurecem, ou polímeros orgânicos específicos, como poliéster e butadieno.

#### Centrifugação

A desidratação e filtração são efetuadas por centrífuga, que pode operar, em muitos casos, continuamente, separando assim a fase líquida da sólida. Algumas vezes o efluente pode conter partículas sólidas em suspensão, após a centrifugação, que serão prejudiciais para a eficiência do processo de decantação.

Outra utilização seria para usar com barreiras absorventes saturadas, para isto o óleo deve estar "fresco". Este processo será mais eficiente para óleo leves e derivados de petróleo. Este processo deve ser iniciado o mais rápido possível após a retirada da barreira absorvente do ambiente.

Seu funcionamento é limpo, simples, de custo relativamente baixo, e vantajoso por requerer pouco espaço para sua instalação. Alguns cuidados de instalação e manutenção têm de ser tomados com relação à ruídos e vibrações produzidos.

## Re-Refino

Consiste na separação do óleo não oxidado dos demais resíduos por destilação ou por uma seqüência de tratamentos físico-químicos. A condição perfeita seria a reutilização de todo o óleo coletado em uma operação. O óleo somente pode ser re-refinado caso não tenha sofrido intemperização nem se misturado a outras substâncias.

## Landfarming

São sistemas que utilizam as propriedades químicas, físicas e a intensa atividade microbiana do solo para transformar, biodegradar os resíduos tratados, reduzindo os riscos de contaminação no meio ambiente. É conhecido, como Sistema de Tratamento de Resíduos no Solo (STRS) (CETESB, 1992).

O tratamento é realizado aplicando os resíduos na superfície ou no interior da camada superficial de solo (cerca de 15 a 20 cm), de forma controlada em células projetadas, sendo necessária a aragem do solo periodicamente e um monitoramento do mesmo. É importante a impermeabilização de fundo, utilizando argila de baixa permeabilidade e/ou geomembrana. Portanto, é recomendável a deposição sobre áreas que não tenham alta permeabilidade, ou próximas de aquíferos importantes para abastecimento de água.

### Processos que ocorrem no Landfarming

Os processos que ocorrem no "landfarming" são: biodegradação, volatilização, percolação e lixiviação superficial. No entanto, espera-se que ocorra o máximo de degradação biológica, e que diminuam as perdas por volatilização e lixiviação. Para tal é importante arar freqüentemente, drenar a água presente no resíduo antes da aragem e não aplicar o resíduo com tempo de chuva (Amaral, 1995). Uma das grandes vantagens do sistema são os baixos custos de implantação e operação. A Agência Ambiental Americana (EPA) ressalta ainda outras vantagens do sistema:

- os resíduos estão dispostos na superfície, a curto prazo, permitindo ações corretivas a medida que ocorra algum problema;

- os compostos orgânicos são biodegradáveis, e os metais pesados normalmente se acumulam na superfície, tendo assim esta disposição uma manutenção pequena a longo prazo.

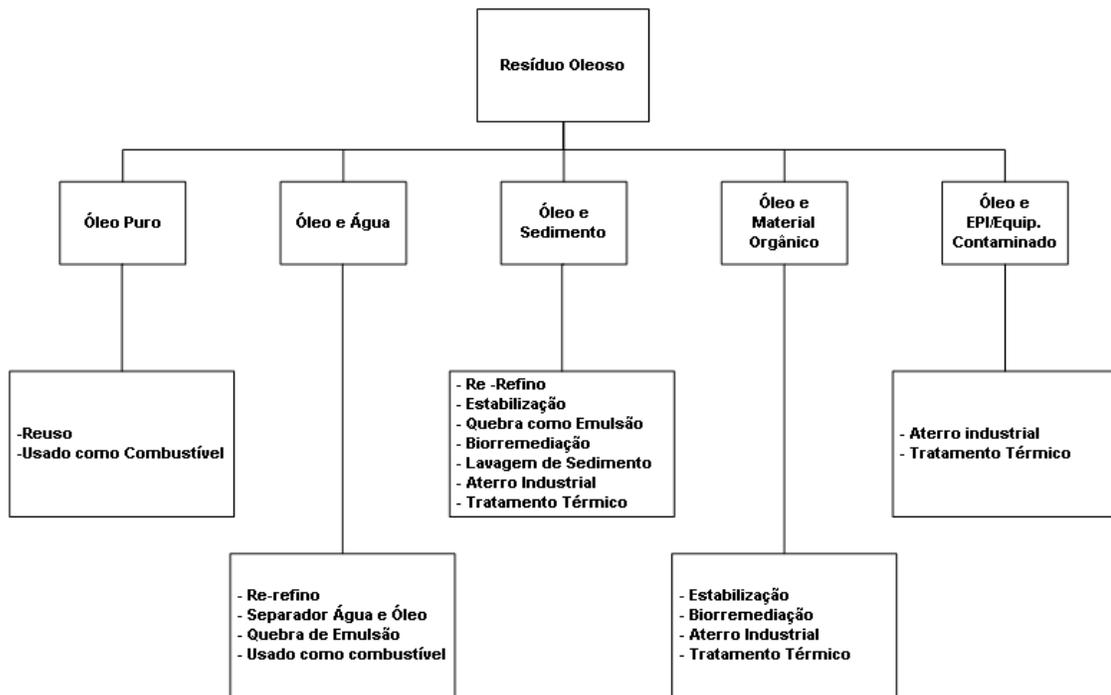
As desvantagens são:

- à necessidade de grandes áreas;
- resíduos que são dispostos em grandes quantidades podem inviabilizar a eficiência do processo.

A utilização deste sistema no Brasil é recente (década de 80), tendo sido iniciada a sua utilização pela indústria de petróleo. São os resíduos oriundos de refinarias e terminais, de limpeza de tanques, separadores de água-óleo, bacias de tanques e equipamentos. Atualmente, este tipo de tratamento vem sendo preterido pela indústria do petróleo, pelo co-processamento.

#### 7.6.5 Árvore de Decisão quanto a Destinação Final dos Resíduos

A Árvore 22 apresenta a árvore de decisão geral elaborada para apoio à decisão na escolha do tratamento/ disposição final dos resíduos gerados em derramamentos de óleos.



**Árvore 22** – Árvore de Decisão quanto a Destinação Final dos Resíduos.

## 8. CONCLUSÕES

Diante da enorme heterogeneidade da composição dos diferentes tipos de petróleo e seus derivados, das condições ambientais e da diversidade da geomorfologia dos ecossistemas litorais, a extensão dos impactos potenciais pode variar muito.

Conseqüentemente, há uma gama de procedimentos de resposta a acidentes que podem ser adotados, assim como ferramentas para diagnosticar e apoiar o processo decisório, tais como mapas de sensibilidade, softwares para modelagem de dispersão de manchas de óleo e árvores de decisão. Tais ferramentas objetivam, basicamente, permitir que o processo de tomada de decisão ocorra com o máximo de rapidez, mas com reduzida margem de erro.

A busca de melhores tecnologias e até mesmo de tecnologias alternativas deve ser constante, de maneira que seja minimizada a agressão ao meio ambiente marinho após um derrame. Entretanto, o respeito e a preservação ao meio ambiente devem ser elementos decisivos no desenvolvimento das atividades econômicas, o que implica na necessidade de constante aprimoramento da segurança dos sistemas de transporte marítimo de óleo, visto que a não ocorrência do derrame é ainda a forma mais eficaz de evitar os impactos ambientais.

As metodologias e técnicas descritas nas árvores de decisão sugeridas no presente trabalho podem ser adaptadas e modificadas de acordo com a sensibilidade ambiental e a legislação de cada país. Além disso, outras árvores de decisão podem ser desenvolvidas para outras etapas da resposta ao acidente, como por exemplo, na escolha do melhor método de supervisão (infravermelho, satélite, etc), na escolha da melhor logística e na escolha da melhor embarcação.

Embora a pressão política geralmente resulte na priorização dos aspectos econômicos e estéticos, os aspectos ambientais deveriam ser a primeira consideração no momento da escolha da melhor estratégia para responder a um acidente de derramamento de óleo.

As áreas em que ocorrem derramamentos também variam muito em seu valor, seja este de natureza econômica, recreativa, educativa, ou de conservação/função do ecossistema. Devido a sua grande variabilidade em sensibilidade, valor potencial e de recuperação, é essencial que os planos de contingência sejam suficientemente adaptáveis e flexíveis para estruturar os mecanismos de resposta ajustados às condições de cada região em particular.

Um pré-requisito para garantir um bom plano de contingência são os mapas de sensibilidade ambiental, detalhes dos acessos às regiões, e as diretrizes de como será a estratégia adotada, assim como uma boa comunicação entre os órgãos ambientais, comando da emergência e equipes de limpeza, que serão fundamentais para uma boa resposta.

Importantes convenções surgiram em resposta a várias catástrofes ecológicas, como meio de tentar diminuir as agressões, levando à criação de regras e procedimentos preventivos e corretivos, tentando, desta forma, eliminar diferenças de práticas entre países e melhorar os padrões de segurança e qualidade dos navios. Contudo, a maior dificuldade parece estar no respeito e na preservação do meio ambiente sobrepondo interesses econômicos. A pouca importância dada à discussão de projetos, leis, convenções e principalmente conscientização da sociedade, leva à destruição lenta e dolorosa dos ecossistemas marinhos.

As pesquisas sobre melhores métodos e equipamentos a serem usados em um derramamento têm avançado a cada dia. No entanto, a busca das empresas por melhores posições no mercado, e o objetivo direcionado tão somente para os lucros, são obstáculos que precisam ser superados através da conscientização, levando-as a adotar práticas seguras para prevenir os acidentes.

Estes modelos propostos de árvores de decisões poderiam ser testados através de exercícios e simulados para que estas árvores fossem moldadas e validadas.

Devido à grande variabilidade e sensibilidade do litoral, assim como do valor potencial e capacidade de recuperação, é essencial que as ferramentas de resposta a derrames de óleo sejam suficientemente adaptáveis e flexíveis para estruturar os mecanismos de resposta ajustados às condições de cada região em particular.

Em função desse fato, sugere-se que instrumentos que podem agilizar a resposta a derrames de óleo e reduzir os riscos de erro (tais como as ADs) sejam continuamente aprimorados e amplamente disponibilizados.

As metodologias e técnicas descritas nas ADs sugeridas no presente trabalho podem ser adaptadas e modificadas de acordo com a sensibilidade ambiental e a legislação de cada país.

Além disso, sugere-se que ADs sejam desenvolvidas a partir das informações contidas nos planos de contingência e nas cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo (Carta SAO), podendo ser incorporadas aos planos de contingência.

Outras ADs podem ser desenvolvidas para outras etapas da resposta aos acidentes, como por exemplo na escolha do melhor método de supervisão (infra vermelho, satélite, etc.) na escolha da melhor logística e na escolha da melhor embarcação.

Os derrames de petróleo e derivados ainda continuam ocorrendo com demasiada frequência em todo o mundo. As medidas de prevenção adotadas ainda não têm sido suficientes para evitá-los e a negligência e falha humana continuam a ser os fatores predominantes na origem desses desastres. O aprimoramento da segurança dos sistemas de transporte, portanto, fundamental, visto que a não ocorrência do derrame é ainda a forma mais eficaz de evitar os impactos.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL,S.P.R. 1995 A. Aplicação de resíduos oleosos na fabricação de materiais cerâmicos. In:Gerenciamento de Resíduos Industriais. Rio de Janeiro. FEEMA.

AMARAL, S.P.R. 1995 B. Landfarming de Resíduos Oleosos / Projeto e Operação. In: Gerenciamento de Resíduos Industriais. Rio de Janeiro. FEEMA.

API, 1985. Analysis of Significant Oil Spill Incidents From Ships U. S. Coast Guard. American Petroleum Institute API & EPA, 1976-1985.

API, 1999. A Decision-Maker's Guide to Dispersants. A Review of the Theory and Operational Requirements. American Petroleum Institute. Health and Environmental Sciences Department. Publication Number 4692. March 1999, 10 p.

API, 2008. Facts and Figures on Oil, American Petroleum Institute, Disponíble in <http://www.api.org/>, accessed January 2007.

ASTM 2004. Standard guide for describing shoreline response techniques. ASTM Designation: F 2204-02, 1 p.

BACA *et al*, 2005. Net Environmental Benefit Analysis (NEBA) of Dispersed Oil On Nershore Tropical Ecosystem Derived from The 20 Year ``TROPIC`` Field Study. Barta Baca, Greg A. Ward, Christine H. Lane and Paul A. Shuler. 2005 Internacional Oil Spill Conference, p 1-4.

BRASIL, 2003. Portaria nº 3, de 10 de janeiro de 2003. Estabelece o procedimento para comunicação de incidentes, a ser adotado pelos concessionários e empresas autorizadas pela ANP a exercer as atividades de exploração, produção, refino, processamento, armazenamento, transporte e distribuição de petróleo, seus derivados e gás natural, no que couber. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 20 de janeiro de 2003.

CANTAGALLO C., MILANELLI, J. & BRITO, D., 2007. Limpeza de ambientes costeiros brasileiros contaminados por petróleo. CAMILA CANTAGALLO; JOÃO CARLOS C. MILANELLI & DIMAS DIAS-BRITO. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* (2007) 2 (1): p 1-12.

CETESB, 2002. DERRAMES DE ÓLEO NO MAR E OS ECOSISTEMAS COSTEIROS. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Apostila do CURSO. Outubro de 2002.

CETESB, 2008. Tipos de Manchas e Ações de Resposta, acessado em janeiro de 2008. <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/vazamento/mancha/mancha.asp>

CETESB, 2008. Limpeza de Ambientes Costeiros, acessado em janeiro de 2008. <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/vazamento/acoes/limpeza.asp>

CLAYTON *et al*, 1997. The Decision Process to Support Shoreline Cleaning Agent in The Field. Jonh R. Clayton Jr., Brian C. Stransky, Dennis C. Lees, Marylin J. Shwartz, Barry J. Snyder and Anthony C Adkins. Ogden Environmental and Energy Services CO, Inc. Internacional Oil Spill Conference 1997, p 1-2.

CONAMA 2001 - Ministério Do Meio Ambiente, Conselho Nacional Do Meio Ambiente- CONAMA, RESOLUÇÃO Nº 269, DE 14 DE SETEMBRO DE 2000, (Publicada no Diário Oficial de 12 de janeiro de 2001).

CONAMA, 2002. Resolução CONAMA nº 293, de 12 de dezembro de 2001. Dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleos originados em portos organizados, instalações portuárias ou terminais, dutos, plataformas, bem como suas respectivas instalações de apoio, e orienta a sua elaboração. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 de fevereiro de 2002.

COONEY, J.J. 1984 The fate of petroleum pollutants in freshwater ecosystems. In Atlas (Ed), Petroleum Microbiology, Macmillan Publishing Company, New York, pp 355-398 API, American Petroleum Institute. Oil spill cleanup: Options for minimizing adverse ecological impacts. Health and Environmental Science Department. API - American Petroleum Institute. nº 4435. 580 p. 1985.

DAVIES *et al*, 2001. Biodegradability of Chemically-Dispersed Oil. Louise Davies, Fabien Daniel, Richard Swannell & Joan Braddock. A report produced for the Minerals Management Service (MMS), Alaska Department of Environmental Conservation (ADEC) and United States Coast Guard (USCG).pp 5-8. AEA Technology Environment Culham, Abingdon Oxon OX14 3ED United Kingdom.

EPPR, 1998. Field Guide For Oil Spill Response In Arctic Waters. Edward H. Owens, Laurence B. Solsberg, Mark R. West and Maureen McGrath. Emergency Prevention, Preparedness and Response Working Group. September 1998.

EXXON, 1992. Oil spill response field manual. Exxon Production Research Company, USA. 193 p.

EXXON 2002. Manual de campo para respuesta a derrames de petróleo. P 6-1. Exxon Mobil Research and Engineering Company.

FINGAS, M.F. 1998. In –Situ Burning of Oil Spills – Na Overview. Spill Technology, V. 23, p. 1-4.

FINGAS, M.F., C.E. BROWN, 1999. "Review of New Developments for Oil Spill Remote Sensing", in *Proceedings of the Fourth International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition*, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan, pp. I 795-802.

INPE/CPTEC, 2008, Escala Beaufort. Acessado em Jan. 2008. <http://www.cptec.inpe.br/glossario/#e>

IPIECA, 1993. Impactos biológicos de la contaminación por hidrocarburos: manglares. Serie de informes de IPIECA V.4. 3 p.

IPIECA, 1996. Desarrollo de mapas de sensibilidad para la respuesta a derrames de hidrocarburos. International petroleum industry environmental conservation association. OMI/IPIECA serie de informes OMI/IPIECA V. 1, 3 p.

IPIECA, 1995. Impactos biológicos de la contaminación por hidrocarburos: costas rocosas. Serie de informes de IPIECA V. 7, 3 p.

IPIECA, 2000. Impactos Biológicos de La Contaminación por Hidrocarburos Costas Sedimentarias. Serie de informes de IPIECA V. 9- 11 p.

IPIECA, 2001. Dispersantes y su papel em La respuesta a derrames de hidrocarburos. OMI/IPIECA serie de informes OMI/ IPIECA V. 5.

IPIECA, 2004. Guidelines for oil spill waste minimization and management. IPIECA Report Series Vol 12. p. 3-12.

IPIECA, 2005. Action against Oil Pollution. A guide to the intergovernmental and industry organizations involved in the prevention and mitigation of oil pollution in the marine environment p. 13-14.

ITOPF, 1987. RESPONSE TO MARINE OIL SPILLS - ITOPF - International Tanker Owners Pollution Federation London, England – 1987, 118 p.

ITOPF, 2001. The International Oil Pollution Federation. 2001. Alternative techniques for spill response. <http://www.itopf.com> substances become available, the methods of implementing clean up and the strategies which may be selected will be affected.

ITOPF, 2007. ITOPF Handbook 2007/2008. Acessado em Janeiro de 2007. <http://www.itopf.org/aerial.html>

KERABRUN, L. & PARKER H., 1998. When should clean-up operations be brought to a close- How Cleans is clean? Paper presented at 20 years after Amoco Cadiz Symposium, 15- 17 October 1998 Brest, France.

KRIIPSALU, M., MARQUES, M., HOGGLAND, W. & NAMMARI, D.R. 2008. Fate of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons during aerobic bio-treatment of oily sludge. *Environmental Technology (in press)*.

KRIIPSALU, M., MARQUES, M., NAMMARI, D.R. & HOGGLAND, W. 2007. Bio-treatment of oily sludge - a pilot scale study. *Journal of Hazardous Material* v. 148, p. 616-622.

LANZILLOTTA, H.A. de A. & MARQUES, M., 2007. Decision trees to support the selection of best response strategies for oil spills in aquatic ecosystems. Lanzillotta, Handerson & Marques, Márcia. Kalmar ECO-TECH '07 and The Second Baltic Symposium on Environmental Chemistry KALMAR, SWEDEN, November 26-28, 2007

LANZILLOTTA ET AL, 2006. Apostila do Curso On Scene Commander. Lanzillotta, H.A de A., Francis, M., Aventurato H & Pozzi D. Alpina Briggs Defesa Ambiental S/A.

BRASIL, 2000. Brasília, 28 de abril de 2000; 179º da Independência e 112º da República, Lei 9966. FERNANDO HENRIQUE CARDOSO Helio Vitor Ramos Filho Lei no

9.966/2000 - fls. 13 . Publicado no D.O. de 29.4.2000 (Ed. Extra)

MARPOL, 1973. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973.

MILANELLI, J.C.C., 1994. Efeitos do petróleo e da limpeza por jateamento em um costão rochosos da praia de Barequeçaba, São Sebastião, SP. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. 103 p.

MMA, 2002. Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo. Ministério do meio ambiente. Secretaria de qualidade ambiental nos assentamentos humanos. Programa de proteção e melhoria da qualidade ambiental. Projeto de gestão integrada dos ambientes costeiros e marinhos. p 9-14.

NOAA, 1992 A. Health and Safety Aspects of In-situ Burning of Oil National Oceanic and Atmospheric Administration. p 1-6.

NOAA, 1992 B. Summaries of significant U.S and International Spills. p 7-8.

NOAA, 1997. Environmental sensitivity index guidelines, Version 2.0. NOAA Technical memorandum NOS ORCA 115. Seattle: Hazardous material response and assessment Division, National Oceanic and Atmospheric Administration. 79 pp.+appendices.

NOAA, 2000. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Characteristic Coastal Habitats: A Guide for Spill Response Planning. Seattle: Hazardous Materials Response Division, NOAA. 85 p.

NOAA, 2000. OPEN WATER OIL IDENTIFICATION JOB AID for aerial observation . NOAA / Office of Response and Restoration / Hazardous Materials Response Division & U.S. Coast Guard Marine Safety Office Puget Sound, Port Operations Department Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, Servicio Nacional Oceánico de NOAA, Second Edition September 2000 p. 25-28

NOAA, 2001. Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, Servicio Nacional Oceánico de NOAA, Oficina de Atención y Restauración, División de Atención a Materiales Peligrosos.

OCIMF, 1980 - Oil Companies International Marine Forum Oil spills. Their fate and impact on the marine environments. Witherby & CO, England. 27 p. 1980.

OIL SPILL CASE STORIE, 1991. Summaries of Significant U.S. and International Spills 1967-1991.

OLIVEIRA, T.B., COSTA, G.M., MARQUES, M., MACHADO, S.C., MACEDO, J.R. 2007. Biorremediação de solos contaminados por diesel e mistura diesel/biodiesel-B5 em biorreatores aeróbicos. Anais...24<sup>th</sup> CBESA: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2-7 Set, 2007. Belo Horizonte-BH. CD Rom.

OPRC, 1990. International Convention On Oil Pollution Preparedness, Response And Co-Operation, 1990 (OPRC 1990).

POSTHUMA J., 1977. The composition of petroleum. Rapp. P. v. reun. Cons. perm. int. Explor. Mer.:171:7-16. 1977.

OVERSTREET R. & GALT J.A. 1995. Physical processes affecting the movement and spreading of oils in inland waters. NOAA / Hazardous materials response and assessment division Seattle, Washington. Hazmat report 95-7, september 1995 .pp 8.

REED *et al* 1994. Oil Spill Modeling towards the Close of the 20th Century: Overview of the State of the Art MARK REED \*, Eistein Johansen , Per Johan Brandvik , Per Daling , Alun Lewisa, Robert Fiocco, Don Mackay & Richard Prentki± Sintef Applied Chemistry, Environmental Engineering, 7034 Trondheim, Norway àAlun Lewis±Oil Spill Consultancy, 121 Laleham Road, Staines, Middx, TW18 2 EG, UK §R.J. Fiocco Associates, 77 Pine Grove Avenue, Summit, NJ 07901, USA ±Environmental Modeling Centre, Trent University, Peterborough, Ontario K19J0 7B8, Canada Minerals Management Service, Alaska Region, Anchorage, USA

SANTOS M., 1995. Co-processamento de resíduos em fornos de cimento. In: Gerenciamento de Resíduos Industriais.. Rio de Janeiro. FEEMA.

ROSS SL, 1999. Estimation of Towing Forces on Oil Spill Containment Booms. SL Ross Environmental Research Ottawa, Ontário, Canadá. Julio 1999. p 9-11.

SOLAS, 1974. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974. Organização Marítima Internacional (IMO).

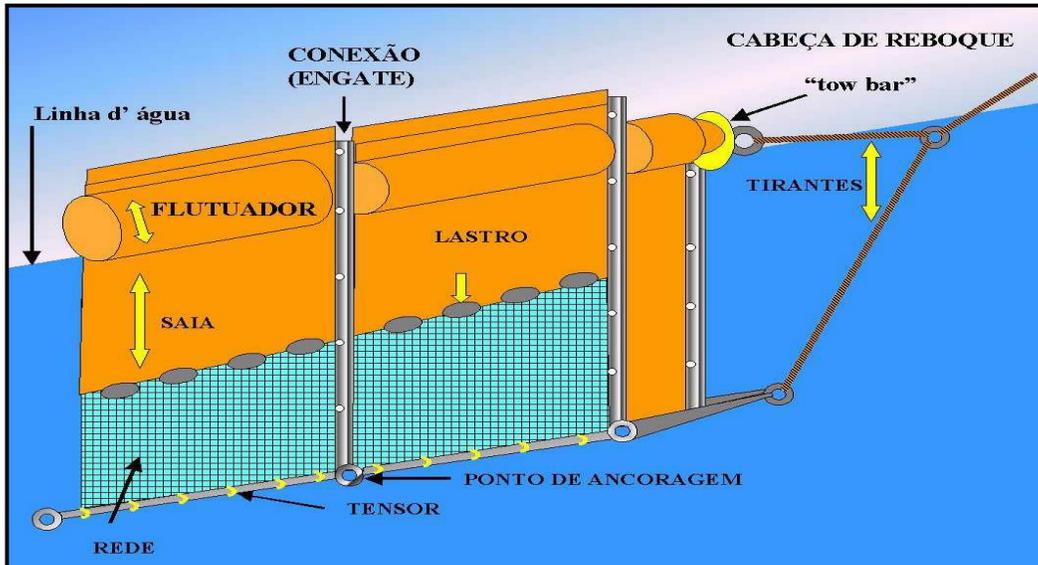
UERJ, 2007. Roteiro para apresentação das teses e dissertações da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

US COAST GUARD *ET AL*, 2006. SMART SPECIAL MONITORING of APPLIED RESPONSE TECHNOLOGIES. U.S. Coast Guard. National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Environmental Protection Agency, Centers for Disease Control and Prevention, Minerals Management Service. 4 p.

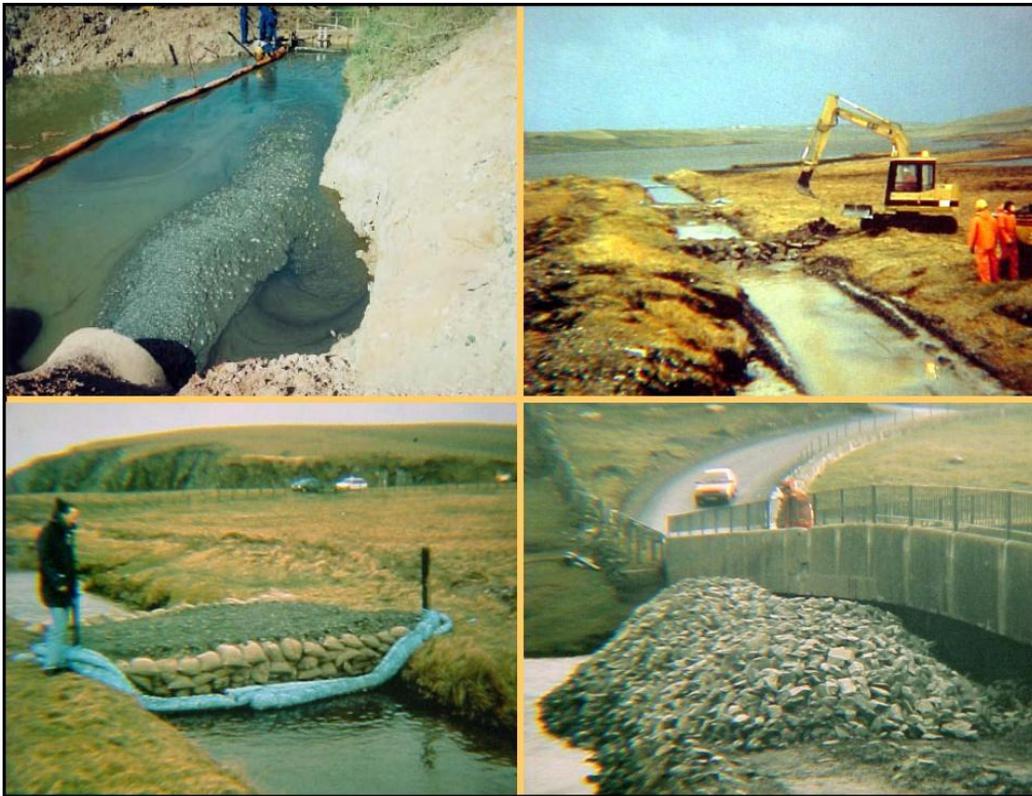
ZHU *ET AL* 2001 .Guidelines for the Bioremediation of Marine Shorelines and Freshwater Wetlands. Xueqing Zhu, Albert D. Venosa, Makram T. Suidan, and Kenneth Lee.

## ANEXOS

### ANEXO I - PARTES DE UMA BARREIRA (Fonte CETESB, 2002)



### ANEXO II - BARREIRAS IMPROVISADAS (Autor: Mark Francis)



**ANEXO III - BARREIRAS OCEÂNICAS (Autor: Mark Francis)**



**ANEXO IV - BARREIRAS PERMANENTES (Autor: Handerson Lanzillotta)**



**ANEXO V - BARREIRAS COSTEIRAS (Autor: Thiago Rocha)**



**ANEXO VI - BARREIRAS de ASSENTAMENTO (Autor: Mark Francis)**



**ANEXO VII - RECOLHEDORES TIPO VERTEDOURO (Autor: Handerson Lanzillotta)**



**ANEXO VIII - SKIMMERS OLEOFÍLICOS TIPO CORDA (Autor: Mark Francis)**



**ANEXO IX - RECOLHEDORES DE TAMBOR (SKIM DRUM)**



**ANEXO X - RECOLHEDORES DE DISCO (DISC SKIMMER) (Autor: Mark Francis)**



**ANEXO XI - RECOLHEDORES DE ESCOVA (BRUSH SKIMMER) (Autor: Mark Francis)**



**ANEXO XII - RECOLHEDORES Mecânicos (Autor: Mark Francis)**



**ANEXO XIII - RECOLHEDORES À Vácuo (Autor: Desconhecido)**

