



AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE REMEDIAÇÃO EM ZONAS COSTEIRAS IMPACTADAS PELA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO

EVALUATION OF REMEDIATION TECHNOLOGIES FOR COASTAL AREAS IMPACTED BY OIL INDUSTRY

Lorena Suede Miranda

Universidade Federal da Bahia, Brasil
lorenasuede@gmail.com

José Ângelo Sebastião Araújo dos Anjos

Universidade Federal da Bahia/Universidade Salvador, Brasil
jangello@unifacs.br

Ícaro Thiago Andrade Moreira

Universidade Federal da Bahia, Brasil
icarotam@gmail.com

RESUMO

Os ecossistemas costeiros são ambientes altamente dinâmicos e sensíveis. A disponibilidade de recursos naturais nesses locais fez com que grande parte das populações se instalasse e desenvolvesse suas atividades nas proximidades dessas áreas, provocando diversos impactos. A exploração, armazenamento e transporte associados às atividades petrolíferas são responsáveis por grandes danos aos ecossistemas marinhos, em função de derramamentos acidentais, bem como da operação normal de navios e plataformas. Desta forma, são avaliadas onze técnicas com o objetivo de nortear a escolha mais adequada para remediação de áreas impactadas por petróleo em três diferentes ecossistemas costeiros: manguezal, praia e recife de coral.

Palavras-chave: Ecossistemas costeiros; Hidrocarbonetos de petróleo; Remediação; Áreas impactadas por hidrocarbonetos; Petróleo.

ABSTRACT

Coastal ecosystems are highly dynamic and sensitive environments. The availability of natural resources in these locations has made much of the population to establish itself and develop its activities in the vicinity of these areas, causing various impacts. The exploration, storage and transportation associated with petroleum activities are responsible for extensive damage to marine ecosystems, due to accidental spills, as well as the normal operation of vessels and platforms. Thus, nine techniques are evaluated in order to guide the most appropriate choice for remediation of impacted areas for oil in three different coastal ecosystems: mangroves, beach and coral reef.

Keywords: coastal ecosystems, petroleum hydrocarbons, remediation, areas impacted by hydrocarbons, petroleum.

1 INTRODUÇÃO

Os ambientes costeiros são áreas de elevado dinamismo e fragilidade, havendo a constante alteração de suas características (ANGULO, 2004). Constituem áreas de alto interesse ecológico e econômico por favorecerem o acesso da população aos recursos naturais provenientes do mar. De acordo com EPA (1999) e Noernberg e Lana (2002), acidentes nas atividades petrolíferas de produção, armazenamento e transporte podem ser ameaças à sobrevivência de espécies ali presentes, sendo ainda frequentes, mesmo com os avanços tecnológicos existentes.

O transporte de petróleo se destaca como a principal fonte antrópica de lançamentos deste composto nos ecossistemas marinhos, que está relacionada, em sua maior parte à operação normal dos navios, em função do rejeito das águas de lastro e das lavagens de tanques (ALEIXO et al., 2007; COSTA, 2012; LENTZ e FELLEMAN, 2003; ZIOLLI, 2002).

Os derramamentos de óleo em qualquer volume podem impactar negativamente o ambiente. A extensão e a gravidade do impacto irão variar de acordo com características de sazonalidade, localização, tipo de óleo derramado e eficiência do método de remediação adotado (FARIAS et al., 2008; LENTZ e FELLEMAN, 2003; MOREIRA, et al., 2013; WANG et al., 2007).

Existem diversas maneiras de remover o óleo dos ecossistemas costeiros e é importante optar pela alternativa mais adequada, visto que métodos inadequados podem ocasionar impactos similares ou até mais sérios que o efeito do óleo. Essa escolha deve ser baseada nas características intrínsecas do ambiente atingido, como sua sensibilidade, bem como nas características do óleo derramado e das técnicas de remediação disponíveis (CANTAGALLO et al., 2007).

Por essa razão, neste trabalho, busca-se indicar algumas das principais técnicas de remediação de três ambientes costeiros vulneráveis à derramamentos de petróleo: manguezal, praia e recife de coral.

2 METODOLOGIA

Este artigo foi desenvolvido a partir de pesquisas bibliográficas baseadas em livros, artigos, teses, dissertações e *sites*, que auxiliaram na coleta de informações de ambientes costeiros, características do petróleo, suas principais fontes e impactos no ambiente, bem como as técnicas de remediação aplicáveis a áreas costeiras impactadas por hidrocarbonetos de petróleo.

Além disso, foram acompanhadas pesquisas em laboratórios do Núcleo de Estudos Ambientais (NEA) vinculados à Universidade Federal da Bahia (UFBA), a partir da análise de amostras de sedimentos contaminados por petróleo de diferentes ambientes costeiros. Nos laboratórios, as amostras passaram por algumas etapas, como pesagem, extração sólido-sólido, extração sólido-líquido, até que chegassem a etapa de cromatografia, na qual são identificados os componentes da amostra, bem como as características do óleo presente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AMBIENTES COSTEIROS

Os ambientes costeiros são áreas de transição ecológica bastante dinâmicas, de grande interesse econômico, já que favorecem o acesso humano aos recursos naturais marinhos (ANGULO, 2004; VOIVODIC, 2004). O uso e ocupação da zona costeira compõem uma grande ameaça ao ambiente gerando diversos conflitos associados (ANGULO, 2004). Os impactos ambientais, sociais e econômicos oriundos destas atividades despertaram uma maior necessidade de controle da exploração, além da prevenção e mitigação dos impactos associados.

Os **manguezais** são ecossistemas costeiros localizados em faixas tropicais e subtropicais do planeta, onde há transição entre ambientes terrestres e marinhos. Ocorrem em áreas abrigadas sujeitas ao regime das marés, apresentando vegetações altamente resistentes à salinidade, denominadas halófitas, e são ambientes muito produtivos (ALVES, 2001; IPIECA, 1993; LACERDA et al., 2006).

Segundo Gundlach e Hayes (1978), citado por Lopes et al. (2007) e Alves (2001), os manguezais constituem os ambientes mais sensíveis e vulneráveis aos impactos provenientes de derramamentos de óleo, já que o óleo derramado tende a permanecer no ambiente em função da baixa energia e consequente deposição de sedimentos, aumentando a extensão do impacto e o tempo de recuperação do ambiente. A vulnerabilidade desse ecossistema a impactos por óleo se deve ao fato de que, geralmente, estão próximos a locais que apresentam larga ocupação de indústrias, portos e terminais.

Os **recifes de corais** são estruturas calcárias rígidas presentes em águas rasas formadas pela ação de organismos marinhos de esqueleto calcário, que passaram por processo de sedimentação, ocorrendo em regiões de climas tropical e subtropical. Estão presentes, principalmente, em latitudes intertropicais, que propiciam alguns fatores físicos e químicos importantes para sua manutenção, como altas temperaturas, intensidade luminosa e concentração de oxigênio dissolvido e baixa turbidez. São os sistemas marinhos com maior diversidade biológica do planeta, importantes como fonte de alimento, turismo, lazer, além de proteção da costa de processos erosivos (CASTRO, 1999; IPIECA, 1992; LOPES et al., 2007).

No Brasil, como em outros países, a proximidade de ambientes recifais às indústrias e atividades petrolíferas torna-os muito vulneráveis a eventuais derramamentos, podendo ocasionar impactos no crescimento de algas, na reprodução de espécies, na produção de muco pelos corais em função do estresse, na cadeia alimentar, além de levar à morte, com consequente redução da biodiversidade local. Por necessitarem de uma grande intensidade de luz para se desenvolverem, fator diretamente relacionado à baixa profundidade em que se encontram, os recifes de corais são muito sensíveis a derramamentos de óleo, já que a mancha pode reduzir, ou até mesmo impedir, a penetração da luz (LOPES et al., 2007).

Em função da sua densidade, o óleo flutua sobre a água acima dos recifes, apesar de haver, em pequena quantidade, dispersão e dissolução. Porém, em algumas áreas, durante a maré baixa, parte dos recifes fica exposta, permitindo o contato direto com o óleo e consequente asfixia. Além disso, as ondas que quebram nas estruturas do recife originam gotas de óleo que se espalham na coluna de água, alcançando as superfícies submersas (IPIECA, 1992).

Alguns estudos demonstram que descargas crônicas em áreas de recifes de corais, mesmo em baixas concentrações, podem ser mais nocivas do que eventos de derramamentos em curto prazo, levando décadas para a recuperação. Existem ainda, estudos que revelam que fatores relacionados ao aquecimento global provocam branqueamento de corais, que sofrem danos em seus tecidos ocasionados pela liberação de algas associadas a estes, tornando-os ainda mais sensíveis aos impactos decorrentes de um vazamento de óleo (IPIECA, 1992; LOPES et al., 2007).

As **praias** são acumulações de sedimentos inconsolidados transportados e moldados de acordo com as características de movimento, perpendiculares a linha costeira, que vão desde o limite da baixa-maré até o limite da maré mais alta. São compostas por areias, pedras, seixos ou conchas, (CORREIA e SOVIERZOSKI, 2005; HAYES et al., 1992; LOPES et al., 2007).

Existe um gradiente de estresse relacionado à temperatura e dissecação, que se estende perpendicularmente a linha d'água. Desta forma, quanto maior for a distância da linha d'água, maior será a variação de temperatura e menor a umidade do ambiente. Este gradiente está diretamente associado à distribuição de espécies no meio, tanto em quantidade como em variedade: quanto maior for a distância da linha d'água, menor será a diversidade e densidade de espécies. Sendo assim, a complexidade e riqueza biológica das praias são aspectos importantes para a definição dos métodos de remediação a serem utilizados (LOPES et al. 2007).

Os efeitos do óleo estão relacionados aos impactos físicos, em virtude do recobrimento, e aos impactos químicos por intoxicação. O óleo derramado pode interferir em processos de locomoção, absorção de água, alimentação, excreção e reprodução, além de provocar sufocamento e estresse térmico (HAYES et al., 1992).

Lopes et al. (2007), afirmam que a maioria das praias apresenta vulnerabilidade ao derramamento de óleo de baixa a moderada. Op. cit., citando API (1985), alegam que nas praias de maior energia, o óleo tende a permanecer durante poucas semanas no ambiente, ao contrário das praias de baixa energia, onde podem permanecer por algumas décadas.

Gundlach e Hayes (1978), citado por Lopes et al. (2007), considerando a porosidade do ambiente, classificam as praias de areia fina como menos vulneráveis que as praias de areia grossa. Porém, as praias de areias mais finas abrigam maior diversidade de espécies, fator que as torna mais sensíveis aos derramamentos, se consideradas as questões ambientais. Nelas, há baixa penetração de óleo, devido à compactação dos sedimentos, podendo haver acumulações superficiais, com a formação de pavimento asfáltico. Sendo assim, os métodos de limpeza são aplicados com maior facilidade, já que a profundidade de penetração é menor.

Em ambientes de praias de areia grossa, bem como de cascalhos, o óleo penetra mais profundamente, permanecendo durante maior tempo no ambiente, já que os métodos de limpeza se tornam mais difíceis de serem aplicados. Porém, no caso de praias de cascalhos, algumas vezes os seixos e pedregulhos evitam que o óleo entre em contato direto com o sedimento, reduzindo a penetração do óleo e, conseqüentemente, facilitando a operação de métodos de limpeza. Quando abrigadas da energia das ondas, existe a possibilidade das praias de cascalhos favorecerem o acúmulo de óleo ou, até mesmo, pavimentação asfáltica na zona entremarés (LOPES et al., 2007; HAYES et al., 1992).

Apesar dos grandes avanços tecnológicos, a ocorrência de acidentes relacionados à exploração e transporte de petróleo e seus derivados ainda é frequente, constituindo uma ameaça aos ambientes costeiros, em especial aos manguezais (NOERNBERG & LANA, 2002).

3.2 HIDROCARBONETOS E OS IMPACTOS DA ATIVIDADE PETROLÍFERA

A expansão das atividades petrolíferas traz consigo cenários de vazamentos e derrames acidentais que vem acompanhados de sérios impactos. De acordo com ITOPF (2012), no mundo, aproximadamente 5,75 milhões de toneladas de petróleo foram derramadas entre os anos 1970 e 2012.

De acordo com Ziolli (2002, p. 32), destacam-se como principais fontes de poluição por petróleo no mar: “águas de lavagem dos tanques dos petroleiros, as águas de lastro e efluentes de praças de máquinas dos navios, os despejos de refinarias costeiras, a operação de petroleiros nos terminais, acidentes envolvendo petroleiros e outros tipos de navios, além de efluentes industriais e municipais contaminados por óleo, e pequenas contribuições de exsudações naturais”. Além destas, consideram-se ainda vazamentos de oleodutos e tanques de armazenagem e despejos provenientes de indústrias (ALEIXO et al., 2007).

Dentre as atividades destacadas, o transporte por navios é a principal fonte antrópica de lançamento de petróleo no ambiente marinho, seja por vazamentos acidentais, lavagens de tanques ou rejeitos de águas de lastro (ALEIXO et al., 2007; COSTA, 2012; LENTZ e FELLEMAN, 2003; ZIOLLI, 2002).

Os derramamentos de óleo durante o transporte por navios são monitorados pela ITOPF, de maneira a promover a segurança das atividades de transporte marítimo internacionalmente (COSTA, 2012). Constam na Tabela 1 os dez maiores acidentes envolvendo petroleiros, considerando as quantidades vazadas (ITOPF, 2012). Costa (2012) citando Cedre (2007) afirma que o derramamento pelo navio Exxon Valdez é considerado o mais custoso da história, sendo gastos mais 2,5 bilhões de dólares.

Tabela 1 – 10 maiores vazamentos desde 1967 (adaptado de ITOPF, 2012)

Posição	Navio	Ano	Local	Derramamento (t)
1	Atlantic Empress	1979	Trindade e Tobago	287.000
2	ABT Summer	1991	Angola	260.000
3	Castillo de Bellver	1983	África do Sul	252.000
4	Amoco Cadiz	1978	França	223.000
5	Haven	1991	Itália	144.000
6	Odyssey	1988	Canadá	132.000
7	Torrey Canyon	1967	Reino Unido	119.000
8	Sea Star	1972	Golfo de Omã	115.000
9	Irenes Serenade	1980	Grécia	100.000
10	Urquiola	1976	Espanha	100.000

Segundo Ziolli (2002), o problema da poluição por navios petroleiros está relacionado à operação normal destes, através do rejeito de águas de lastro e da lavagem de tanques, sendo apenas 20% dos derramamentos de óleo representados por acidentes. É importante considerar que há variações nas estimativas em razão da falta de dados.

Altas concentrações de compostos tóxicos no ambiente marinho que acarretam a mortalidade são raras, ocorrendo em áreas pontuais e durante um curto período. Alguns efeitos subletais decorrentes da exposição crônica, mesmo em menores concentrações, podem comprometer a realização de funções básicas inerentes à

vida de organismos marinhos, como locomoção, respiração, alimentação, reprodução e crescimento. Porém, é importante considerar que os diferentes organismos marinhos apresentam resistência variada à toxicidade do petróleo. Outro fator de grande relevância é a ameaça às espécies de baixa taxa de reprodução, bem como os efeitos à saúde humana através da alimentação, já que os peixes e outros organismos marinhos fazem parte do cardápio de grande parte da população mundial, considerando que mais da metade desta vive em áreas a um raio de 60 km da costa (op. cit.).

O petróleo é um combustível fóssil composto basicamente por hidrocarbonetos saturados e aromáticos, resinas e asfaltenos (PETROBRÁS, 1984). Sua composição varia de acordo com características geoquímicas, matéria orgânica de origem, grau de evolução térmica, nível de biodegradação, entre outras (VEIGA, 2003). Os hidrocarbonetos são relativamente persistentes, pouco biodegradáveis e apresentam alta lipofilicidade, fatores que constituem grande preocupação do ponto de vista ambiental (TANIGUCHI, 2001).

Os hidrocarbonetos são usados como indicadores de poluição por petróleo em função da sua predominância neste composto, em especial, os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) pela sua toxicidade sobre o ser humano e sobre a biota e pela capacidade que alguns organismos marinhos filtradores têm de acumular, dentre outros compostos, o HPA (DA SILVA, 2011; VEIGA, 2003). Sendo assim, conhecer as fontes, o comportamento e a distribuição do HPA no ambiente pode auxiliar na escolha de métodos de limpeza e remediação de áreas costeiras contaminadas por petróleo (VEIGA, 2003).

3.3 TECNOLOGIAS DE REMEDIAÇÃO APLICÁVEIS EM ÁREAS IMPACTADAS

Historicamente, as técnicas de remediação de rápida retirada do óleo que deixam o ambiente limpo visualmente são preferencialmente usadas. Para interferir de maneira eficiente, é extremamente importante conhecer as características dos ambientes atingidos, bem como os impactos decorrentes do vazamento e dos próprios métodos de remediação a serem utilizados, já que muitas vezes os danos oriundos da aplicação podem apresentar gravidade igual ou superior aos impactos gerados pelo derramamento do óleo (CANTAGALO et al., 2007; DICKS et al., 2000; HAYES et al., 1999; LOPES et al., 2007).

Considerando a visão do órgão ambiental, a técnica de remediação eficiente é aquela que permite a recuperação da área no menor tempo possível e gerando o mínimo impacto. Todavia, a limpeza efetuada de maneira rápida nem sempre denota a recuperação ambiental (LOPES et al., 2007).

Ressalta-se ainda a importância da análise custo-benefício, de forma a avaliar os benefícios econômicos, sociais e ambientais dos métodos em questão, considerando as características intrínsecas a cada evento (DICKS et al., 2000).

Para que as ações de remediação estejam bem planejadas é preciso considerar as definições de prioridade. Primeiramente, deve-se priorizar a contenção e a retirada do óleo em mar que, se feita de maneira adequada, previne que a costa venha a ser contaminada, tornando necessária também a aplicação de técnicas de remediação nesses locais (op. cit.). Para tanto, as equipes de combate devem estar adequadamente treinadas e organizadas, bem como os procedimentos a serem utilizados precisam estar delineados de acordo com as características de cada ambiente, considerando os riscos de contaminação (DICKS et al., 2000; LOPES et al.,

2007). No caso de vários ambientes serem atingidos pelo derramamento do óleo, deve-se priorizar a limpeza com início no ambiente mais sensível, porém, na maioria das vezes, a sensibilidade ecológica das áreas não é considerada nas definições de prioridade (CANTAGALO et al., 2007; LOPES et al., 2007).

Os métodos escolhidos só devem ser empregados após a retirada de, pelo menos, grande parte do óleo derramado das águas próximas às áreas atingidas. Caso contrário, os ambientes podem ser novamente contaminados, necessitando outra vez da aplicação de técnicas de remediação e, conseqüentemente, ocasionando ainda mais prejuízos ao ecossistema já perturbado (CANTAGALLO et al., 2007).

Dentre as opções de técnicas de remediação mais usadas, destacam-se: biorremediação, barreiras e *skimmers*, queima *in situ*, remoção mecânica, materiais absorventes, dispersantes químicos, remoção manual, jateamento com água e limpeza natural (CANTAGALLO et al., 2007; CRAIG et al., 2012; EPA, 1999; LOPES et al., 2007)

A **biorremediação** consiste na remoção do óleo da área atingida a partir da aceleração dos mecanismos naturais de biodegradação através da adição de substâncias. Depende de características do óleo, assim como características ambientais (pH, temperatura, níveis de nutrientes e oxigênio, entre outros) (CRAIG et al., 2012; LOPES et al., 2007; MOREIRA, 2011).

Segundo Lee e De Mora (1999) citados por Lopes et al. (2007), a biorremediação pode ser dividida em bioadição e bioestimulação. Na bioadição, utilizam-se bactérias e outros microorganismos para suplementar à comunidade já existente. Já na bioestimulação são inseridos nutrientes que estimulam o desenvolvimento de comunidades autóctones.

Alguns ambientes costeiros, como os manguezais, apresentam baixas concentrações de oxigênio, fator que constitui uma das principais limitações no uso da técnica já que, mesmo existindo altas concentrações de nutrientes no ambiente, os processos de degradação anaeróbica apresentam eficiência muito menor que processos aeróbicos, ressaltando-se que a biodegradação é basicamente realizada através de processos aeróbicos. No caso de ambientes costeiros com maiores concentrações de oxigênio, a grande dificuldade é manter os nutrientes nos sedimentos em função da ação das ondas e das marés (LOPES et al., 2007).

A biorremediação não atribui impactos adicionais ao ambiente, sendo, por isso, priorizado sempre que possível. À ele podem ser associados outros mecanismos de remediação (CRAIG et al., 2012).

As **barreiras e *skimmers*** (Figura 1) são equipamentos que removem o óleo da água a partir de mecanismos de sucção. Para isso, são associados a dispositivos de armazenamento temporário, que sejam fáceis de operar. Essas técnicas podem ser aplicadas em áreas onde há o acúmulo de óleo (CRAIG et al., 2012).

Figura 1 - Barreiras e *skimmers*



Fonte: Banco de imagens da CETESB

O procedimento de **queima *in situ*** visa a retirada do óleo a partir da queima em substratos combustíveis, citando-se como exemplos vegetação e troncos. O óleo pode, ainda, ser queimado em substratos não inflamáveis, adotando-se agentes que auxiliem a promoção da queima (HAYES et al., 1992).

O uso da queima *in situ* é limitado por alguns fatores, como as fontes de ignição, a segurança da operação e a constituição de alguns resíduos que podem afundar em razão das suas densidades. Desta forma, deve-se atentar a alguns itens na operação deste método, como por exemplo, o uso de barreiras antifogo, tipo de óleo, proximidade de populações, condições hidrodinâmicas do ambiente, distância que separa a mancha das embarcações, entre outros (CRAIG et al., 2012).

A **remoção mecânica** (Figura 2) é realizada com auxílio de veículos e máquinas, de roda ou esteira, incluindo-se tratores, retroescavadeiras, caminhões-caçamba e caminhões vácuo. Estes equipamentos são usados nas faixas de praia e zonas entremarés, retirando óleo juntamente com areia. Este procedimento pode acarretar sérios danos ao ecossistema, já que a comunidade biológica presente pode ser removida juntamente com a areia. Adicionalmente, o peso das máquinas favorece a compactação do substrato, ressaltando que há maior concentração biológica nos vinte centímetros mais superficiais, além de provocar alterações no equilíbrio dinâmico e promover processos erosivos. Na remoção mecânica são retiradas grandes quantidades de areia, sendo que parte considerável dos sedimentos limpos é removida desnecessariamente. Desta forma, além dos danos biológicos, é gerada grande quantidade de resíduos que pode, inclusive, ser maior que o volume de óleo derramado (LOPES et al., 2007).

Figura 2 - Remoção mecânica



Fonte: Banco de imagens da CETESB

Os **materiais absorventes** (Figura 3) podem ser utilizados eficientemente para pequenas quantidades de óleo através de mecanismos de absorção e adsorção (op. cit.). Estes elementos permitem que o óleo penetre nos seus espaços vazios, além de atraírem adsorventes de óleo até suas superfícies. Para que sejam eficientes, os materiais absorventes devem repelir a água, de modo que não permitam a entrada desta nos seus poros. São divididos em duas categorias: natural (orgânico e inorgânico) e sintético (EPA, 1999).

Os absorventes orgânicos apresentam baixo custo e são facilmente encontrados, podendo absorver óleo de 3 a 15 vezes o seu peso. Todavia, alguns têm tendência à absorção de água, aumentando a densidade e provocando afundamento em direção ao sedimento. Além disso, alguns absorventes orgânicos são partículas soltas difíceis de serem recolhidas após serem espalhados na água. Os absorventes inorgânicos são capazes de absorver óleo 4 a 20 vezes mais que seu peso e, assim como os orgânicos, são baratos e facilmente encontrados. Por fim, os absorventes sintéticos compreendem materiais semelhantes ao plásticos, podendo absorver óleo até 70 vezes o seu peso. Algumas vezes podem ser limpos e reutilizados, porém outros não são passíveis de reutilização, apresentando dificuldades de armazenamento e descarte apropriado, que podem ser caros (op. cit.).

Se usados adequadamente, os absorventes, de forma geral, causam poucos danos ao ambiente, sendo indicados para remoção de baixas quantidades de óleo. Entre os prejuízos que podem ser causados, citam-se a contaminação do sedimento em função do afundamento de agregados absorvente-óleo e danos à cadeia alimentar (LOPES et al., 2007).

Figura 2 - Materiais absorventes



Fonte: Banco de imagens da CETESB

Os **dispersantes químicos**¹ (Figura 4) são produtos químicos que aceleram o processo de dispersão natural quando pulverizados nas manchas de óleo na água, tendo sua eficiência facilitada quando há agitação marítima no local, que pode ser natural ou induzida pelo uso de aeronaves e embarcações. São formados essencialmente por agentes surfactantes - que atuam como uma interface entre líquidos imiscíveis diferentes, fazendo com que pequenas partículas de óleo penetrem na água, facilitando sua degradação por bactérias - e por solventes. Apresentam baixa eficácia em óleos pesados de baixa viscosidade e flutuantes, já que os dispersantes acabam passando do óleo para a água antes mesmo do solvente penetrar. Desta forma, não são adequados para óleos envelhecidos, pois a formação de emulsões viscosas do óleo na água reduz sua eficiência (CRAIG et al., 2012).

Figura 3 - Dispersantes químicos



Fonte: Banco de dados da CETESB

¹ Segundo o artigo 1º da resolução CONAMA nº 269/2000: "A produção, importação, comercialização e uso de dispersantes químicos para as ações de combate aos derrames de petróleo e seus derivados no mar somente poderão ser efetivados após a obtenção do registro do produto junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA".

A **limpeza manual** (Figura 5) é um procedimento mais trabalhoso, onde os sedimentos contaminados são retirados manualmente com auxílio de utensílios como pás, latas, carrinhos de mão, entre outros. Permite que locais mais restritos sejam alcançados, servindo também para operação em locais mais extensos. Esta técnica geralmente é adotada devido ao menor impacto que causa durante a sua operação ou à falta de recursos apropriados, sendo frequentemente associada ao uso de absorventes. É recomendada especialmente para regiões mais sensíveis, que não suportam os impactos ocasionados por métodos mais severos. Se feita de maneira bem orientada permite a remoção de grande parte do óleo derramado, com mínimos impactos associados à sua operação (CRAIG et al., 2012; HAYES et al., 1992; LOPES et al., 2007).

Figura 4 - Limpeza manual



Fonte: Banco de dados da CETESB

O **jateamento com água** (Figura 6) é uma técnica em que o óleo é retirado através do lançamento de jatos de água com pressões variáveis. Este sempre esteve entre os métodos de limpeza mais utilizados em costões rochosos, além de estruturas artificiais, em função da sua eficiência. O jateamento pode ser operado no mar ou na terra, utilizando água doce ou salgada, em altas ou baixas temperaturas. Para maior eficiência, pode também ser usado em conjunto com algumas substâncias químicas, tais como dispersantes (LOPES et al., 2007). O grande problema associado ao uso desta técnica é o impacto mecânico sobre a fauna e a flora de regiões entremarés já que, mesmo em baixas pressões, os danos à fauna e flora permanecem, em especial sobre os organismos mais sensíveis (LOPES et al., 1992; LOPES et al., 2007). Além disso, o jateamento pode conduzir à contaminação de áreas adjacentes, comprometendo, inclusive, a teia alimentar (LOPES et al., 2007).

Figura 5 - Jateamento



Fonte: Banco de dados da CETESB

A **limpeza natural** (Figura 7) do ambiente contaminado ocorre a partir da ação das ondas, marés e correntes, sendo favorecida em locais de maior energia, como também a partir de processos de evaporação, oxidação e biodegradação. No processo de evaporação os elementos líquidos leves presentes no óleo são evaporados. Considerando que grande parte das substâncias tóxicas existentes no óleo apresentam menor peso, esse processo auxilia na redução da toxicidade com o decorrer do tempo (BURNS et al., 2002; LOPES et al., 2007).

O processo de oxidação acontece a partir da reação do oxigênio com alguns compostos químicos presentes no óleo, transformando os compostos químicos complexos em compostos mais simples, de menor peso e maior capacidade de dissolução em água, ou seja, maior capacidade de degradação. Já a biodegradação acontece a partir do consumo do petróleo por bactérias que vivem na água ou na terra, que usam a energia no atendimento de suas necessidades biológicas (EPA, 1999).

Inicialmente, o óleo derramado pode apresentar toxicidade às bactérias, porém, o processo de evaporação remove as substâncias mais tóxicas, auxiliando o processo de biodegradação. A biodegradação pode ser acelerada a partir da adição de nutrientes, estimulando o processo de crescimento de bactérias degradadoras, ou ainda pela adição de mais bactérias no local. A eficácia da limpeza natural varia de acordo com o tipo e a quantidade de óleo derramado, o período do ano, as características do ambiente, entre outros fatores, podendo durar de algumas semanas até alguns anos. É importante ressaltar que esse método é usado quando o “não fazer” é a melhor opção, não devendo ser confundido com negligência. A limpeza natural frequentemente é associada à outros métodos, como a limpeza manual e o uso de absorventes (EPA, 1999; LOPES et al., 2007).

Figura 7 - Limpeza natural



Além das técnicas anteriormente citadas, existem métodos ainda em processos de testes, como a fitorremediação e os *Oil Suspended Material Particulate Aggregates (OSAs)*.

Carneiro et al. (2002), Ferreira et al. (2003) e Dinardi et al. (2003), citados por Moreira (2011) definem a fitorremediação como o processo de introdução de espécies vegetais no ambiente contaminado de forma a promover a descontaminação do local. Este método pode auxiliar na recuperação de grandes áreas a baixo custo, porém sua eficiência, algumas vezes, requer um tempo longo para ser alcançada (MOREIRA, 2011).

Além dos estudos da fitorremediação, vem sendo também desenvolvidos estudos experimentais sobre a interação entre as gotículas do óleo derramado e as partículas minerais em suspensão (MOREIRA, 2013; WANG et al., 2013). O chamado Agregado Óleo-material Particulado em Suspensão (*Oil Suspended Material Particulate Aggregates – OSAs*) consiste em um processo natural favorecido por condições oceanográficas (turbulência, Material Particulado em Suspensão - MPS, salinidade, temperatura), que considera as características do óleo, já que estas determinam seu destino na coluna d'água (MOREIRA, 2013). Moreira (2013), citando Le Floch et al. (2002), Stoffyn-Egli e Lee (2002), Khelifa et al. (2002) e Sun et al. (2010), define o OSA como uma formação microscópica de origem natural constituída por associações entre sedimentos finos e óleo que interagem de maneira espontânea em sistemas aquáticos turbulentos, compondo estruturas estáveis durante algumas semanas. Com os resultados dessas investigações, acredita-se, que o entendimento da formação e fluatibilidade do OSA tornar-se-á uma ferramenta norteadora para o gerenciamento de áreas contaminadas por petróleo.

3.4 ESCOLHA DE MÉTODOS ADEQUADOS DE ACORDO COM O ECOSISTEMA ATINGIDO

Os **manguezais** estão entre os ambientes costeiros mais sensíveis e vulneráveis aos derramamentos de óleo, que pode permanecer no local por muitos anos. Sendo assim, existe certa limitação de técnicas de remediação aplicáveis a esses ecossistemas, já que, muitas vezes, os procedimentos podem oferecer danos adicionais maiores que o próprio óleo. Por esse motivo, aconselha-se a limpeza natural como o melhor método. Apesar disso, existem outras técnicas aplicáveis. (CANTAGALLO et al., 2007; IPIECA, 1993; LOPES et al., 2007).

O uso de jateamento à baixa pressão, barreiras e *skimmers* para recuperação do óleo são alternativas. Para tanto, a adição de dispersante à água do mar usada no jateamento auxilia a remoção do óleo. Esse método é eficaz para retirada de grandes quantidades de óleo presentes na superfície da vegetação, quando esta é estável e contínua. Todavia, é importante escolher com cautela o dispersante a ser adicionado, visto que alguns podem apresentar efeitos mais tóxicos às plantas do que o próprio óleo. A utilização do jateamento conduz a desvantagens relacionadas ao pisoteio do substrato devido ao manuseio do equipamento, contaminações de espaços adjacentes, entrada de óleo no sedimento e remoção incompleta do óleo (CANTAGALLO et al., 2007).

A aplicação de absorventes também pode ser usada em manguezais (apenas nos canais hídricos que atravessam o manguezal, não sendo indicado o uso no interior do bosque) considerando que estes devem ser recuperáveis e que a equipe de limpeza deve estar devidamente treinada a fim de evitar que haja mistura com o sedimento durante a recuperação (op. cit.).

Os agregados óleo-absorvente podem ser retirados pelas ondas e marés, como também podem ficar retidos entre as raízes do manguezal, dificultando a extração. O uso de absorventes naturais pode ser eficiente, principalmente quando associados à utilização de barreiras absorventes que evitam que estes sejam espalhados, facilitando seu recolhimento, fator importante para evitar o afundamento do agregado com a consequente contaminação do sedimento. Alguns impactos a serem considerados são os danos mecânicos e modificações decorrentes do pisoteio pela equipe ou pelas embarcações, contaminação do sedimento em função do não recolhimento do agregado e recobrimento de animais e vegetais pelos resíduos de absorventes (LOPES et al., 2007).

A utilização de dispersantes em casos de vazamentos de petróleo em manguezais é muito polêmica, necessitando de uma análise criteriosa antes da tomada de decisão. Existem estudos que afirmam que o óleo dispersado quimicamente provoca alta variação de toxicidade nas plantas, de acordo com o dispersante. Essa técnica diminui a aderência do óleo nas raízes–escora e nos troncos, no sedimento e nos organismos presentes. Por outro lado, sob influência do dispersante químico o óleo distribui-se por alguns metros de profundidade, causando efeitos sobre as populações de organismos mais profundas (IPIECA, 1993; HAYES et al., 1992).

Algumas vezes, o uso de dispersantes químicos acarreta impactos adicionais, e em outras podem, inclusive, elevar a entrada de óleo nos sedimentos. Sendo assim, esse método apresenta maior eficiência na proteção dos manguezais quando os dispersantes são lançados em águas abertas, já que as manchas são impedidas de se deslocar para os ambientes costeiros de maior sensibilidade. Ao entrar no manguezal o óleo pode ocasionar sérios impactos, podendo levar décadas para que o bosque seja reestruturado (CANTAGALLO et al., 2007; LOPES et al., 2007).

Não existem muitos estudos acerca da aplicação da biorremediação em manguezais atingidos por óleo, apesar de ser uma técnica futuramente promissora para tratamentos em longo prazo (CANTAGALLO et al., 2007). Em ambientes redutores, como os manguezais, uma das principais restrições à aplicação da biorremediação é a baixa concentração de oxigênio no substrato, mesmo considerando as altas concentrações de nutrientes, já que a biodegradação do petróleo constitui basicamente um processo aeróbico. Além disso, se o nível de contaminação for muito alto, os organismos biodegradadores não irão conseguir se desenvolver (LOPES et al., 2007).

A limpeza natural, geralmente, é o método mais seguro e apropriado para os bosques de mangue impactados por óleo, em função da presença de ambientes hidrodinâmicos adjacentes a esses ecossistemas (HAYES et al., 1992). Da mesma forma, esse método é o mais aconselhado para manguezais expostos, já que o fluxo da maré favorece a retirada do óleo. No caso de derramamentos de grandes volumes de óleo em bosques de mangue é importante adotar algumas técnicas de remoção mecânica. Os óleos mais leves, de menores densidade e viscosidade, tendem a atingir maiores profundidades de penetração. Desta forma, torna-se maior o tempo de residência no ecossistema (LOPES et al., 2007).

A limpeza das **praias** dos efeitos de derramamentos de óleo, grande parte das vezes, é priorizada em função do aspecto estético, diretamente relacionado às questões turísticas e econômicas, deixando, muitas vezes, de considerar as questões ambientais. Sendo assim, várias vezes a opção por determinadas técnicas desencadeia uma série de danos à biota (CANTAGALLO et al., 2007).

É comprovado que as características hidrodinâmicas das praias, como o movimento das ondas e marés, auxiliam na remoção do óleo presente na água e no sedimento, já que favorecem sua transferência para os locais mais superiores (op. cit). Entre algumas das principais técnicas acessíveis de limpeza de praias podem ser utilizados os absorventes, os dispersantes, o jateamento, bem como procedimentos de remoção mecânica, manual e limpeza natural (LOPES et al., 2007).

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) utiliza uma combinação de métodos para retirada do óleo das praias, estabelecendo diretrizes para operação como evitar a realização de procedimentos mecânicos nas zonas mais inferiores, inclusive a circulação de máquinas e veículos, em função da maior sensibilidade ambiental da zona entremarés; priorizar o início da limpeza no momento em que o máximo possível de óleo tenha sido removido da água; evitar pisoteio das regiões entremarés; evitar, ao máximo, a retirada de sedimento não contaminado durante a remoção da parcelas contaminadas, considerando-se, para operação desse procedimento, o regime das marés; se necessário, utilizar métodos de aplicação de absorventes, que devem ser retirados posteriormente; entre outras diretrizes (MILANELLI e LOPES, 2001).

A limpeza das praias deve priorizar a remoção através de técnicas manuais, nas áreas do médio e supralitoral. Assim, evita-se que sejam retiradas grandes quantidades de sedimentos desnecessariamente, principalmente em praias de areia fina. No caso de praias onde há misturas de areias e cascalho, deve-se priorizar a remoção mecânica, manual e a limpeza natural. Já nas praias de cascalho, em função da retirada de grandes volumes de sedimento ocasionadas pela limpeza, a melhor opção são métodos de remoção manual e mecânica. Pode-se utilizar o jateamento a baixa pressão para auxiliar no direcionamento e acúmulo do óleo que, posteriormente, será removido por *skimmers* e absorventes. Já o jateamento a alta pressão não é recomendável, já que seu uso pode provocar danos mecânicos a fauna e remoção de sedimentos (GUNDLAUCH e HAYES, 1978; CANTAGALLO et al., 2007).

A limpeza natural é viável em praias abertas quando a energia das ondas é suficiente. Para praias mais abrigadas, quando a limpeza natural não é o melhor método a ser adotado, pode-se utilizar jateamento a baixa pressão, no caso da praia ser constituída por sedimentos firmes; remoções mecânicas e manuais; elementos absorventes; e biorremediação. No caso da biorremediação, não existem evidências em relação às vantagens (IPIECA, 2000).

Conclui-se que nas praias, de forma geral, técnicas como remoção manual e utilização de absorventes, associadas ao movimento das ondas, são os mais recomendados (CANTAGALLO et al., 2007).

Para os **recifes de corais** são poucas as técnicas que podem ser usadas na limpeza do óleo, em função da sua sensibilidade e da dificuldade de acesso à esses ambientes. Pode-se usar *skimmers*, posicionando-os em poças e locais abrigados dentro do recife para retirada do óleo da superfície de água acima dos corais. Outra opção é a utilização de absorventes naturais para a descontaminação da coluna d'água acima dos recifes de corais, evitando-os em períodos de maré baixa excepcional, em função da possibilidade de recobrimento de organismos e consequentes impactos adicionais. Existe alguma dificuldade no recolhimento dos resíduos em função da estrutura complexa dos recifes e, por esse motivo, deve-se proceder de maneira planejada considerando o risco de afundamento dos agregados (CANTAGALLO et al., 2007; LOPES et al., 2007).

O uso de dispersantes diminui a aderência do óleo às estruturas coralíneas, porém, podem promover a contaminação da coluna d'água, atingindo maiores profundidades. Em função do conhecimento insuficiente sobre os efeitos dos dispersantes e atentando-se à sensibilidade dos recifes de corais, deve-se evitar a utilização dessa técnica (op. cit.).

A queima *in situ* elimina de maneira rápida o óleo da superfície de água acima dos corais, evitando que haja o contato direto entre eles. Porém, nem sempre esse método pode ser adotado, já que é necessário o atendimento à algumas condições, como a espessura da pluma, a agitação do mar, os ventos, entre outros fatores. A queima *in situ* provoca poluição atmosférica localizada e favorece a constituição de fumos e cinzas. Pode ainda promover o afundamento dos resíduos viscosos formados durante a queima, recobrando fisicamente as colônias. Como as elevadas temperaturas concentram-se apenas nas superfícies da coluna d'água, essa técnica pode ser melhor aproveitada quando aplicada no combate de manchas oleosas em águas abertas, próximas à regiões de ameaça à ambientes mais sensíveis (LOPES et al., 2007).

Assim como no caso dos manguezais, a limpeza natural é melhor recomendada no combate a contaminação por óleo em recifes de corais, uma vez que não provoca danos adicionais ao ecossistema e é bastante eficaz em áreas de alta energia (op. cit.). Em áreas recifais mais abrigadas, pode-se associar outras técnicas à limpeza natural, como o bombeamento a vácuo e, em algumas situações, lavagem com água corrente (IPIECA, 1992).

4 CONCLUSÃO

A concentração de atividades petrolíferas em ambientes costeiros torna-os bastante vulneráveis aos impactos associados à derramamentos. Os acidentes ambientais relacionados à vazamentos de petróleo provocam grandes danos à biota, como impactos nas funções biológicas básicas de organismos marinhos, citando-se como exemplos a respiração, alimentação, movimentação e reprodução. Os impactos ambientais desencadeiam ainda prejuízos socioeconômicos, visto que os humanos necessitam de recursos naturais costeiros para alimentação e desenvolvimento de atividades econômicas.

Para mitigar os impactos ocasionados pelos vazamentos de petróleo, adotam-se algumas técnicas, que devem ser escolhidas a partir das características intrínsecas aos ambientes atingidos e das características do óleo

derramado. Porém, nem sempre a escolha é feita a partir desses fatores. Muitas vezes a opção por determinada técnica é feita considerando-se fatores estéticos e econômicos, o que pode acarretar o uso de métodos inadequados, gerando impactos adicionais de mesmo nível ou de níveis superiores aos impactos provenientes apenas da presença do óleo.

Desta forma, neste trabalho foram caracterizadas algumas das principais técnicas disponíveis para a remediação de manguezais, praias e recifes de corais, considerando suas vantagens e desvantagens. Constatou-se a preferência pelo uso da limpeza natural, algumas vezes associada a outros métodos, visto que esta não gera impactos adicionais. O uso associado desses métodos, quando feito de forma adequada, auxilia eficientemente na recuperação das áreas atingidas, preservando, ao máximo, a biota presente e permitindo o contínuo desenvolvimento de atividades petrolíferas.

REFERÊNCIAS

ALEIXO, L. A. G.; TACHIBANA, T. I.; CASAGRANDE, D. *Poluição por óleo – Formas de introdução de petróleo e derivados no ambiente*. In: Revista Integração, ano XIII. São Paulo, 2007, p. 159-166.

ALVES, J.R.P. *Manguezais: educar para proteger*. Rio de Janeiro: FEMAR: SEMADS, 2001, 96 p.

ANGULO, R.J. *Aspectos físicos das dinâmicas de ambientes costeiros, seus usos e conflitos*. In: Desenvolvimento e Meio Ambiente, n. 10. Curitiba: Ed. UFPR, 2004, p. 175-185.

BURNS, G.; POND, R.; TABEAU, P.; ETKIN, D. *Looking to the Future - Setting the Agenda for Oil Spill Prevention, Preparedness and Response in the 21st Century*. Spill Science & Technology Bulletin, v. 7, 2002. p. 31-37

CANTAGALLO, C.; MILANELLI, J.C.C.; BRITO, D.D. *Limpeza de ambientes costeiros brasileiros contaminados por petróleo: uma revisão*. In: Pan-American Journal of Aquatic Sciences (Panamjas): Rio Claro, 2007, 12 p.

CASTRO, C.B.e. *Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da zona costeira e marinha: recifes de coral*. UFRJ, Rio de Janeiro, 1999, 101 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB) Disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br/> >. Acesso: 20 nov. 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). *Resoluções do Conama: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012*. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2012. 1126 p.

CORREIA, M.D.; SOVIERZOSKI, H H. *Ecossistemas marinhos; recifes, praias e manguezais*. In: Conversando sobre ciências em Alagoas: UFAL, Maceió, 200, 55 p.

COSTA, D.M.B. *A valoração econômica como ferramenta para compensação de derramamentos de petróleo*. Rio de Janeiro: UFRJ, 2012, 199 p.

CRAIG, A.P.I.; SENA, E.; MAGALHÃES, L.; KRAUSE, M.C.; NEVES, P.R.; SILVA, M.J. *Técnicas de limpeza de vazamentos de petróleo em alto mar*. In: Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas, v. 1,, n.15, UNIT, Aracaju, 2012, p. 75-86

DA SILVA, A.M.F.D. *Biodegradação de petróleo e produção de biossurfactante por bactérias nativas do sedimento do manguezal de Gargaú, São Francisco do Itabapoana – RJ*. UENF, Campos dos Goytacazes, 2011, 44 p.

DICKS, B.; PARKER, H.; MOLLER, T.; PURNELL, K.; WHITE, I. *Management and work force requirements for effective shoreline cleaning operations*. Brighton, 2000. 14 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Understanding oil spill and oil spill response*. E.U.A, 1999.

FARIAS, C. O.; HAMACHER, C.; WAGENER, A. L. R.; SCOFIELD, A. L. *Origin and degradation of hydrocarbons in mangrove sediments (Rio de Janeiro, Brazil) contaminated by an oil spill*. *Organic Geochemistry*, n. 39, 2008. p. 289-307

HAYES, M.O; HOFF, R.; MICHEL, J.; SCHOLZ, D.; SHIGENAKA, G. *An introduction to coastal habitats and biological resources for oil spill response*. E.U.A, 1999.

HOFF, R.; HENSEL, P.; PROFFIT, E.C.; SHIGENAKA, G.; YENDER, R.; MEARN A.J. *Oil Spills in Mangroves - Planning & response considerations*. In: U.S. Department of commerce/National Oceanic and Atmospheric Administration/National Ocean Service: E.U.A, 2010.

INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION (IPIECA). *Biological impacts of oil pollution: mangroves*. In: IPIECA report series, v. 4, Londres, 1993, 20 p.

INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION (IPIECA). *Biological impacts of oil pollution: coral reefs*. In: IPIECA report series, v. 3, Londres, 1992, 16 p.

INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION (IPIECA). *Biological impacts of oil pollution: sedimentary shores*. In: IPIECA report series, v. 9, Londres, 1992, 20 p.

LACERDA, L.D.; MAIA, L.P.; MONTEIRO, L.H.U.; SOUZA, G.M.; BEZERRA, L.J.C.; uiz José Cruz; MENEZES, M.O.O. *Manguezais do Nordeste e Mudanças Climáticas*. In: *Ciência Hoje*, v. 39, n. 229, 2006, p. 24-29.

LENTZ, S.A.; FELLEMAN, F. *Oil spill prevention: a proactive approach*. In: International oil spill conference: EUA, 2003, 27 p.

LOPES, C.F.; MILANELLI, J.C.C.; POFFO, I.R.F. *Ambientes costeiros contaminados por óleo: procedimentos de limpeza – manual de orientação*. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2007, 120 p.

MILANELLI, J.C.C.; LOPES, C.F. *Recuperação de praias atingidas por derrames de óleo: procedimentos emergenciais adotados pela CETESB*. In: SEMANA NACIONAL DE OCEANOGRAFIA: oceanografia e sociedade - um desafio à teoria e prática, n. 83. Rio Grande, 2001

MOREIRA, I.T.A. *Avaliação da eficiência de modelos de remediação aplicados em sedimentos de manguezal impactados por atividades petrolíferas*. Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, 2011, 163 p.

MOREIRA, I.T.A. *Agregado de Óleo-material Particulado em Suspensão (OSA) como ferramenta norteadora do gerenciamento de áreas contaminadas por atividades petrolíferas*. Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, 2013, 53 p.

NOERNBERG, M.A.; LANA, P.C. *A sensibilidade de manguezais e marismas a impactos por óleo: fato ou mito? Uma ferramenta para a avaliação da vulnerabilidade de sistemas costeiros a derrames de óleo*. In: *Geografares*: n. 3. Vitória, 2002, p. 109-122.

THE INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED (ITOPF). *Oil tanker spill statistics 2012*. Reino Unido, 2012. 11 p.

PETROBRÁS. *Geoquímica do petróleo*. In: CENPES, Rio de Janeiro, 1984, 257 p.

TANIGUCHI, S. *Avaliação da contaminação por hidrocarbonetos e organoclorados em diferentes compartimentos do ambiente marinho do estado do Rio de Janeiro*. USP, São Paulo, 2001. 161 p.

VEIGA, I.G. *Avaliação da origem dos hidrocarbonetos em sedimentos superficiais de manguezais da região norte da Baía de Todos os Santos/Bahia*. UENF, Macaé, 2003. 205 p.

VOIVODIC, R. *Gestão ambiental e gerenciamento costeiro integrado no Brasil: uma análise do Projeto Orla em Cabo Frio – RJ*. UFRJ, Rio de Janeiro, 2004, 180 p.

WANG, Z.; YANG, C.; FINGAS, M.; HOLLEBONE, B.; YIM, U. H.; OH, J.R. *Petroleum Biomarker Fingerprinting for Oil Spill Characterization and source Identification*. In: Oil spill environmental forensics: fingerprinting and source identification, cap. 3, 2007. p. 74-146.

WANG, W.; ZHENG, Y.; LEE, K. *Chemical dispersion of oil with mineral fines in a lowtemperature environment*. Marine Pollution Bulletin, v. 72, 2013. p. 205-212.

ZIOLLI, R.L. *Aspectos ambientais envolvidos na poluição marinha por petróleo*. In: Revista Saúde e Ambiente/Health and Environment Journal, v.3, n.2. Rio de Janeiro, 2002, p. 32-41.