

Atividade petrolífera offshore e sua relação com os impactos ambientais nos ecossistemas marinhos

Noemi Rodrigues Nascimento^{1*}, Gabriel Victor Vital², Alyny dos Santos Plaza³, Giovanna Lucchi Mandotti de Souza⁴

¹Bacharela em Engenharia Ambiental e Sanitária, Faculdades Metropolitanas Unidas, Brasil. (*Autor correspondente: noemi.r.n@hotmail.com)

²Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária, Faculdades Metropolitanas Unidas, Brasil.

³Bacharela em Engenharia Ambiental e Sanitária, Faculdades Metropolitanas Unidas, Brasil.

⁴Bacharela em Engenharia Ambiental e Sanitária, Faculdades Metropolitanas Unidas, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 02/06/2021 – Revisado em: 07/07/2021 – Aceito em: 30/07/2021

RESUMO

O petróleo é a fonte de combustível mais importante atualmente, possui uma grande importância econômica e gera não só o combustível fóssil, como também outros produtos que são aplicados de formas diferentes. Apesar de sua relevância, a exploração petrolífera tem como consequência diversos impactos desde a extração até a utilização, principalmente em ambiente offshore. A importância e sensibilidade ecológica do ambiente marinho faz com que haja riscos em qualquer alteração não natural do mesmo, especialmente se tratando de atividades de grande magnitude como é a exploração e produção de petróleo. A compreensão desses impactos possibilita uma conscientização para o desenvolvimento de novas tecnologias e aplicação de melhores e mais eficazes técnicas de controle, prevenção e remediação. Alguns métodos de remediação provaram ter eficácia, bom custo-benefício e baixo ou nenhum impacto ambiental de consequência, como a biorremediação que utiliza micro-organismos para a limpeza do ambiente impactado pelo vazamento de óleo. Outros métodos como o uso de dispersantes químicos que contém substâncias tóxicas em sua composição, podem trazer danos ao ambiente e devem ser aplicados quando outras medidas mitigatórias não forem suficientes. Nesse estudo abordar-se-á a respeito do funcionamento do sistema offshore, o comportamento do óleo em um vazamento no oceano e de que forma os riscos da atividade impactam os ecossistemas marinhos, possibilitando uma compreensão da necessidade de medidas de prevenção e controle.

Palavras-Chaves: Offshore, exploração petrolífera, vazamento de óleo, ecossistemas marinhos.

Offshore petroleum activity and its relation to environmental impacts on marine ecosystems

ABSTRACT

Petroleum is the most important fuel source nowadays, it has great economic importance and generates not only fossil fuel, but also other products that can be used in different ways. Despite its relevance, oil exploration causes several impacts from extraction to use, especially in the offshore environment. The importance and ecological sensitivity of the marine environment imply that there are risks in any unnatural change in it, especially activities of great magnitude such as oil exploration and production. Understanding these impacts enables awareness for the development of new technologies and the application of better and more effective control, prevention and remediation techniques. Some remediation methods have proven to be efficient, cost-effective and have little or no consequential environmental impact, such as bioremediation that uses microorganisms to clean up the environment impacted by oil spills. Other methods, such as the use of chemical dispersants that contain toxic substances in its composition, can cause damage to the environment and should be applied when other mitigating measures are not sufficient. This study will address the functioning of the offshore system, the behavior of oil in case there is a spill in the ocean and how the risks of the activity affect marine ecosystems, enabling an understanding of the need for prevention and control measures

Keywords: Offshore, oil exploration, oil spills, marine ecosystems.

Nascimento, N. R., Vital, G. V., Plaza, A. S., Souza, G. L. M., (2021). Atividade petrolífera offshore e sua relação com os impactos ambientais nos ecossistemas marinhos. *Meio Ambiente (Brasil)*, v.3, n.5, p.46-63.



1. Introdução

A preocupação com o meio ambiente e a urgência de mudança de hábitos de produção e consumo estão cada vez mais sendo debatidos na sociedade. Nas últimas décadas, os impactos negativos que a natureza e consequentemente a sociedade vem sofrendo tem se agravado em função de um consumo não sustentável, alertando autoridades e órgãos públicos sobre tomadas de decisões a fim de evitar uma grande catástrofe ou situação irreversível (Zanirato e Rotondaro, 2016).

A importância do petróleo no nosso cotidiano é de extrema relevância, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a matriz energética mundial é composta por fontes não renováveis em sua maioria, destas, o petróleo e seus derivados representam 31,5%, seguidos pelo carvão mineral com 26,9%. Já as fontes renováveis juntas correspondem somente a 2% dessa matriz (Epe, 2020). O conhecimento desses dados reforça a necessidade de uma mudança no padrão de consumo mundial, uma vez que a queima de energia fóssil como o petróleo traz grandes impactos ambientais e sociais, como contribuição ao aquecimento global e consequentemente às mudanças climáticas e agravamento de doenças respiratórias devido aos gases poluentes na atmosfera (Bussadori, 2019). O ambiente marinho possui uma enorme importância ecológica e social, servindo como fonte de renda para diversas populações além de possuir uma rica biodiversidade. Dessa forma, os impactos ambientais e sociais que sua exploração pode causar são diversos, prejudicando os habitats de animais marinhos e as comunidades costeiras que têm o mar como fonte de renda e/ou alimentação.

A crescente necessidade de consumo de petróleo motivou o ser humano a levar suas buscas ao mar, expandindo o campo de pesquisa para o sistema offshore. Esse sistema interage diretamente com diversos ecossistemas marinhos, podendo trazer consequências irreversíveis às espécies além da difícil recuperação ambiental a longo prazo, como foi o caso do Golfo do México, onde em 2010 aconteceu um dos maiores derramamentos de óleo no mar da história, impactando praias, estuários, mangues e pântanos.

A Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) em seu relatório que traz perspectivas para a indústria do petróleo, apresenta queda na utilização e consumo do petróleo e um aumento da participação de recursos energéticos sustentáveis após 2030, porém as indústrias petrolíferas ainda se manterão nas primeiras posições como produtoras da maior fonte de energia por alguns anos (Lawler, 2020). Como exemplo há o interesse econômico no desenvolvimento do país através da exploração de recursos petrolíferos e o planejamento da Petrobras em continuar explorando o Pré-Sal no litoral brasileiro (Petrobras, 2018). Fato este que levou a empresa à liderança na produção de petróleo em águas profundas e ultra profundas, mesmo o Brasil sendo um dos últimos países a iniciar a exploração do fluido na América Latina.

Analisando estes cenários e reconhecendo os riscos de acidentes no sistema offshore, compreender os processos intempéricos que afetam o óleo em caso de vazamento é essencial para conhecer os possíveis impactos negativos nos ecossistemas marinhos e aplicar as medidas de remediação e mitigação necessárias.

O objetivo do trabalho é abordar temas como a formação do petróleo e sua composição; a funcionalidade do sistema offshore; o comportamento do óleo no mar e as principais tratativas do problema; legislação aplicável; principais acidentes no mundo e os métodos de mitigação utilizados nestes; e os impactos causados nos ecossistemas marinhos.

2. Material e Métodos

Este trabalho foi desenvolvido através de revisão bibliográfica cuja metodologia consiste na análise e revisão de literaturas já publicadas em forma de livros, artigos, teses, dissertações, relatórios, entre outras formas de publicações científicas e literatura cinzenta. Os autores identificaram, coletaram e analisaram as principais contribuições científicas sobre o tema, totalizando 69 artigos, este número foi considerado significativo por possibilitar que nenhum autor referenciado fosse citado mais de três vezes, permitindo embasamento teórico suficiente para os objetivos da pesquisa. A identificação dos artigos foi realizada através

de três bases de dados: SciELO, Periódicos Capes e Google Scholar. Estas bases de dados foram escolhidas devido a seu acervo abrangente e confiabilidade de dados.

A escolha dos artigos foi feita por dois critérios: período e relevância. O período definido foi a partir de 2013, para que não houvesse dados e informações ultrapassadas, até dezembro de 2020, data em que o artigo foi finalizado. A relevância foi definida a partir da magnitude da contribuição para o tema, levando em consideração a fundamentação teórica dos artigos e nível de especialização, ou seja, a começar por obras que tratam do tema de uma forma abrangente e direcionando para obras que sejam mais específicas.

As buscas foram realizadas por palavras chaves em inglês e em português, expandindo assim o campo de bibliografias relevantes. As palavras chaves utilizadas foram: *offshore*, *exploração de petróleo*, *vazamento de óleo*, *ecossistemas marinhos*, *oil spill*, *petroleum exploration*, *análise de risco*, *remediação de vazamento de óleo*, *contenção de óleo no mar*, *acidentes offshore*, *leis do petróleo* e *projeção energética*. Essas palavras foram consideradas devido à sua abrangência, que permitiu a pré-seleção de 107 obras que passaram por uma avaliação. Os artigos foram avaliados de forma a garantir a qualidade dos mesmos para esta pesquisa, foram levantadas as perguntas: Os resultados apresentados no artigo atingiram os objetivos do mesmo? As contribuições teóricas/práticas que o artigo trouxe ficaram claras? O grau de expertise do autor do artigo é relevante para sua área? Esses critérios de inclusão e exclusão possibilitaram a seleção final das 69 obras de referência e garantiram a veracidade das mesmas.

A partir da delimitação do horizonte temporal 2013-2020 e tendo como finalidade analisar o comportamento do óleo em caso de vazamento no oceano e identificar impactos passíveis deste problema, os autores deste artigo realizaram as revisões bibliográficas visando a ampla compreensão de todo o cenário seguindo o nível de especialização, analisando artigos mais amplos abrangendo a formação e composição do petróleo cru, etapas de extração e possíveis riscos, processos atuantes no óleo derramado e sensibilidade dos ecossistemas marinhos e tornando essa análise mais direcionada para estabelecer uma relação entre esses processos. A motivação dos autores para esta pesquisa foi baseada no potencial impacto que a atividade petrolífera pode causar aos ambientes marinhos, e conseqüentemente na crescente necessidade de expansão do consumo energético para energias renováveis.

3. O sistema offshore

A inovação da tecnologia e o atual mundo como conhecemos não seriam possíveis de serem alcançados sem a globalização, revolução industrial, uso de recursos energéticos e entre eles, a exploração petrolífera. O petróleo é a principal fonte de energia no Brasil e no mundo, atualmente representa 34,4% na repartição de oferta interna de energia nacional (Epe, 2019).

O petróleo, palavra que vem do latim, significa “óleo de pedra” e é definido como uma mistura de hidrocarbonetos. Segundo Martins (2014):

“de maneira geral, óleos não alterados possuem em média 57% de hidrocarbonetos saturados (compreendendo parafinas e naftênicos), 29% de hidrocarbonetos aromáticos (incluindo as moléculas aromáticas puras e naftenoaromáticos) e 14% de resinas e asfaltenos (fração de alto peso molecular contendo nitrogênio, enxofre e oxigênio), além de quantidades traço de organometálicos”.

A respeito da sua classificação, pode ser considerado como leve ou pesado, porém isso varia de acordo com a sua composição dos derivados na refinaria. De acordo com Morais (2013):

“Os petróleos leves são constituídos de maiores proporções de hidrocarbonetos de menor peso molecular, que originam maiores proporções de gás liquefeito de petróleo (GLP), nafta, querosene e Diesel; os petróleos pesados produzem proporções elevadas de frações pesadas, como gasóleos de vácuo e resíduo de vácuo”.

No processo de refino, o petróleo passa por algumas classificações para saber o valor econômico e seus derivados. Essa classificação é medida de acordo com a densidade do fluido, estabelecida pelo American Petroleum Institute (API). Santos V. e Silva (2019) definem a classificação do petróleo da seguinte maneira: Petróleo leve: $API \geq 31,1^\circ \text{ C}$; Petróleo mediano: $22,3^\circ \text{ C} \leq API < 31,1^\circ \text{ C}$; Petróleo pesado: $10^\circ \leq API < 22^\circ \text{ C}$; Petróleo extrapesado: $API < 10,0^\circ \text{ C}$.

De acordo com essa classificação, é possível destinar os tipos de petróleo para a produção de certos derivados, como os combustíveis (gasolina, óleo diesel, óleo combustível, gás liquefeito de petróleo (GLP), querosene e entre outros), produtos não-combustíveis (solventes, parafinas, lubrificantes básicos, graxas, asfalto e coque) e derivados não energéticos (nafta, gasóleos petroquímicos e outras matérias-primas para as indústrias petroquímicas) (Morais, 2013).

A demanda para suprimento dos recursos energéticos tem crescido ao longo dos anos, o que exigiu um desenvolvimento rápido das tecnologias de extração do petróleo, a fim de que o mercado, a expansão das cidades e economias dos países continuassem avançando. O processo de extração e transporte do petróleo possui uma alta potência em tecnologia para uma boa qualidade do produto e segurança ao meio ambiente e aos colaboradores.

Segundo Silva (2014), o desenvolvimento das plataformas fixas do sistema offshore começou em 1947 após a empresa Superior Oil Company construir a primeira estrutura metálica de perfuração e produção, conhecida como jaqueta, definida por Oliveira (2017) como “*plataformas constituídas de estruturas modulares de aço (...) fixas com estacas cravadas no leito marinho*”.

Para iniciar a perfuração das rochas a fim de extrair o petróleo, é necessário realizar previamente um estudo geológico para selecionar as camadas de rochas com a maior probabilidade de encontrar o fluido. Após essas pesquisas, geofísicos utilizam o método sísmico com a contribuição de equipamentos para fazer uma análise da radiografia dessas camadas. Este método conta com a propagação de terremotos artificiais, causados por meio de explosivos ou bombas de ar comprimido para produzir ondas que chegam até a crosta terrestre e voltam à superfície. Com isso, os equipamentos especializados para este tipo de método conseguem captar esses sinais e apresentam as informações aos geofísicos (Fem-Unicamp, 2018).

A próxima etapa é a perfuração dos poços, que ocorre com a ajuda de equipamentos que possuem sondas. As plataformas responsáveis pela perfuração são constituídas por diversos tubos até chegar ao fundo do mar, onde se realiza a perfuração através de brocas (Fem-Unicamp, 2018). Começa então uma série de processos e estudos para confirmar a existência do petróleo nas jazidas, listados a seguir.

- i. Poço pioneiro: primeiro poço perfurado a fim de confirmar a existência do petróleo;
- ii. Poço de extensão ou delimitatório: poço perfurado para saber a extensão da jazida;
- iii. Poço pioneiro adjacente: poço perfurado para descobrir novas jazidas em uma área adjacente ao poço anterior;
- iv. Poço para jazida mais rasa: poço perfurado para descobrir a existência de jazidas mais rasas na região onde já foram descobertas outras jazidas anteriores;
- v. Poço para jazida mais profunda: poço perfurado para descobrir a existência de jazidas mais profundas na região onde já foram descobertas outras jazidas anteriores.

Após esta série de etapas de perfuração e a conclusão de ser viável economicamente a extração e produção de petróleo na área, a empresa inicia então a perfuração dos seguintes poços (Petrobras, 2015a):

- i. Poço de produção ou desenvolvimento: poço perfurado a fim de extrair o petróleo para produção e transporte;
- ii. Poço de injeção ou injetor: poço no qual são injetados água e gás para obter um aumento ou melhora da recuperação do petróleo e gás natural.

Com os poços em funcionamento, é instalado um equipamento importante para o controle do fluxo de entrada e saída do fluido produzido ou injetado no poço, chamado “Árvore de Natal”. Este equipamento é constituído por um conjunto de válvulas operadas remotamente (Petrobras, 2015b).

A plataforma instalada em determinada região para retirar o produto dos poços perfurados, possui diversas tubulações por onde percorre o petróleo extraído chamados de risers e flowline. Ao chegar na superfície, o fluido entra em contato com o vaso separador, que realiza o trabalho de separação da água, do óleo e do gás, visto que o petróleo não chega em sua forma pura e natural. Geralmente nas plataformas existem diversos outros equipamentos que garantem uma eficácia maior nesse processo de separação, porém com este modelo é possível descrever simplificadamente a operação da etapa (Braga, 2017).

3.1 *Análise de risco*

Ao longo dos últimos anos, diversos desastres causados por derramamento de óleo no meio ambiente afetaram diretamente e indiretamente a vida dos animais e das comunidades próximas aos locais. Por isso, a elaboração de um instrumento de gestão de risco que aborde os possíveis impactos ambientais desde os estudos sísmicos para perfuração dos poços até o transporte do petróleo, deve conter diversos tipos de cenários a fim de evitar e encontrar possíveis soluções para cada um dos problemas.

As metodologias de Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) ou respostas às emergências são muito importantes na prevenção e solução a qualquer ação antrópica que seja negativa ao ambiente. A análise de risco (ARA) é um ótimo instrumento pouco utilizados pelos profissionais responsáveis pela construção destes métodos, o seu diferencial é apresentação de cálculos técnicos, como a taxa de frequência, levando em conta diversos cenários possíveis de acidentes e assim obtendo melhorias e soluções mais eficientes em casos de derramamento de óleo no mar. Ao final dos cálculos primários, um segundo é realizado para verificar a tolerabilidade dos impactos causados, analisando o tipo de óleo (leve ou pesado) a fim de obter um resultado do cenário mais eficiente, já que propriedades diferentes do fluido podem se comportar de maneiras diferentes no mar (Pereira e Haddad, 2019). Através dessa matriz e análise dos cenários possíveis, o estudo consegue concluir melhor quais as tratativas para cada um dos problemas, principalmente os que possuem uma probabilidade maior de ocorrer.

4. **Meio ambiente no sistema offshore**

No ambiente marinho, todo derramamento de petróleo é danoso e de difícil contenção, uma vez que as correntes marítimas agem dispersando o óleo pela água. Martinho (2016) afirma que a depender do grau de profundidade do mar, a dificuldade em realizar as atividades petrolíferas e de contenção em caso de vazamento é maior. Em águas profundas mais distantes da costa em que há diferença de pressão, temperaturas mais baixas e menor visibilidade, os equipamentos precisam ser mais sofisticados e de altíssima precisão.

De acordo com Britto, Carvalho e Borba (2016), além da alta pressão presente nos reservatórios das plataformas offshore, pode haver também gases corrosivos e tóxicos, fazendo com que as instalações das plataformas sejam locais de constante risco e potencial de acidentes. Dos diversos riscos ambientais que envolvem as atividades petrolíferas, o vazamento é um dos mais comuns e poluentes.

Ao entrar em contato com o mar, o petróleo sofre diversos processos físicos, químicos e biológicos que são causados pela ação do intemperismo. De acordo com Afenyo, Veitch e Khan (2016), esses processos são influenciados por fatores ambientais como vento, temperatura e correntes marítimas e podem ser diversos, ocorrendo simultaneamente. Esses processos são evaporação, dispersão, emulsificação, espalhamento, dissolução, afundamento, sedimentação e biodegradação. São influenciados pelas propriedades dos componentes do óleo (Ipieca, 2015). A biodegradação é também utilizada como um processo de remediação em caso de vazamentos.

O espalhamento do óleo no mar é um dos processos mais relevantes, uma vez que pode influenciar os demais. Esse processo depende da viscosidade do óleo e da temperatura do ambiente, óleos com baixa viscosidade espalham mais rapidamente e a viscosidade é inversamente proporcional a temperatura, portanto águas mais quentes podem acelerar o espalhamento.

De acordo com Ipieca (2015), a evaporação começa imediatamente após o derramamento a depender da volatilidade e da quantidade de óleo derramado, se as temperaturas forem favoráveis. Esse processo pode remover boa parte dos hidrocarbonetos mais leves em horas (Tarr et al., 2016). O processo de dissolução ocorre quando os compostos solúveis em água nos hidrocarbonetos são dissolvidos, porém a dissolução não é tão relevante uma vez que além da maior parte do óleo não possuir essa capacidade, a parcela que possui é evaporada antes do processo de dissolução começar (Mishra e Kumar, 2015).

A dispersão, emulsificação e espalhamento são influenciados pela densidade do óleo, uma vez que quanto maior a sua densidade, mais acelerados são estes processos e maiores são seus impactos ambientais. A título de exemplo, a dispersão do óleo torna mais difícil sua localização, contenção, e conseqüentemente, remediação (Fingas, 2014). Os processos de afundamento e sedimentação acontecem também a depender da densidade do óleo e quando há a adsorção do mesmo às partículas em suspensão (Tarr et al., 2016).

É importante também considerar a persistência do óleo no ambiente, que é definida a partir da gravidade específica. Óleos que possuem mais átomos de carbono em sua composição tem uma persistência mais elevada, impedindo que a biodegradação ocorra naturalmente e necessitando de uma intervenção antrópica (Evans et al., 2017). De acordo com Walker (2017), as ações primordiais a serem tomadas em caso de vazamento de óleo no oceano são: (i) controlar a fonte de vazamento para evitar que a quantidade de óleo aumente; (ii) monitorar o local de vazamento e, (iii) determinar a extensão e o grau de contaminação.

Dessa forma, os mecanismos de remediação e contenção do óleo podem ser físicos/mecânicos - como barreiras e skimmers; químicos - como dispersantes; térmicos - como queima in situ; ou biológicos - como a biorremediação (Walker, 2017). A escolha da técnica ideal depende do tipo de óleo, localização, quantidade de óleo derramado e temperatura do ambiente e da água (Prendergast e Gschwend, 2014).

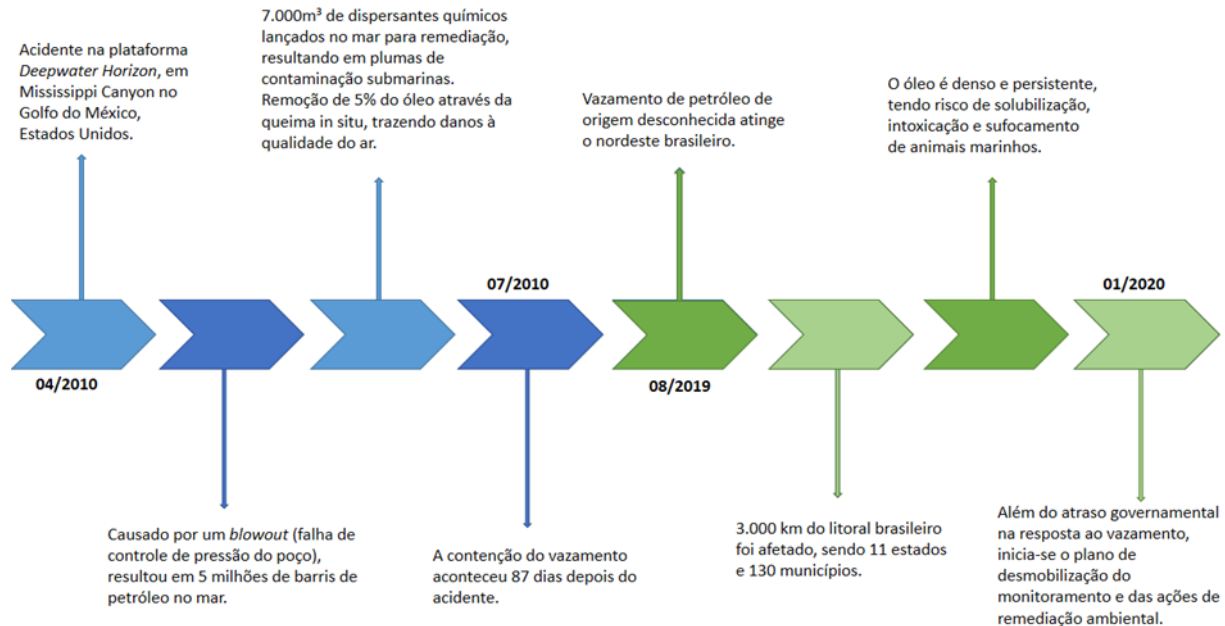
Os mecanismos físicos fazem a contenção do óleo derramado, facilitando sua posterior remoção. De acordo com Pereira J. (2018), as barreiras e skimmers visam concentrar o óleo em um local que facilite sua remoção, sendo depois armazenado para processamento ou descarte. A queima in situ envolve o isolamento do óleo com barreiras e incêndio do material, resultando em dióxido de carbono e vapor de água com fuligem. O uso de skimmers e barreiras para contenção do óleo é mais lento que a queima in situ, porém não tem potencial de poluição do ar e da água (Fingas, 2014).

Os dispersantes químicos são pulverizados por barcos ou aeronaves e agem reduzindo a tensão interfacial entre a água e óleo e quebrando as manchas em pequenas partículas, facilitando a dispersão e biodegradação do material. De acordo com Miranda, Anjos e Moreira (2014), este método possui baixa eficiência em óleos pesados e é melhor implementado antes dos processos de intemperismo se desenvolverem. Os dispersantes modernos podem ter diferentes efeitos no meio, estão sujeitos a processos naturais como diluição, dispersão e biodegradação. Quando os dispersantes são aplicados em águas profundas, uma parcela do produto pode ser sequestrada por sedimentos e ficar retido nas profundidades, deixando a biota sujeita à diluição.

A biodegradabilidade do óleo impacta diretamente no sucesso da biorremediação, é uma característica que diz respeito a capacidade de degradação biológica do material, e varia a depender de fatores como densidade, composição, emulsão e dispersão, assim como fatores oceanográficos como salinidade, temperatura e pressão (Rodrigues e Totola, 2015). De acordo com Dellagnezze et al. (2014), a biorremediação consiste no uso de organismos vivos para a mitigação ou eliminação de um poluente em determinada área, e uma vez que tenham as capacidades metabólicas adequadas para a degradação de hidrocarbonetos, o uso de mais de uma espécie de micro-organismos traz resultados melhores para biorremediação de vazamentos de óleo (Almeida et al., 2017). Essa técnica tem mostrado ser uma alternativa econômica e eficiente.

Considerando os riscos e danos possíveis em um caso de vazamento de óleo no oceano, a Figura 1 contextualiza um dos maiores acidentes de petróleo offshore no cenário global que aconteceu no Golfo do México nos Estados Unidos em 2010, e no cenário nacional o vazamento no litoral nordestino brasileiro em 2019. Cabe reforçar que a velocidade da resposta ao vazamento é um fator essencial uma vez que reduz a extensão do impacto e dano aos ecossistemas, a rápida contenção da mancha de óleo evita que a mesma se espalhe para regiões mais distantes do local de derramamento.

Figura 1 – Contexto histórico de dois desastres ambientais de vazamento de óleo no oceano.



Fonte: adaptado de Nixon et al., 2016; Euzebio, Rangel e Marques, 2019; Pereira R., 2016; Beyer et al., 2016; Jaligama et al., 2015; Disner e Torres, 2020.

4.1 Legislações ambientais relevantes

De acordo com Santiago (2017), a partir da promulgação da Lei do Petróleo nº 9478, de 6 de agosto de 1997, houve a criação de dois órgãos essenciais para a realização das atividades petrolíferas, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) responsável por formular políticas e diretrizes energéticas visando o aproveitamento racional dos recursos energéticos do país, e a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) responsável pela fiscalização e regulação das atividades que fazem parte da cadeia do petróleo e gás natural.

A Lei do Petróleo ressalta em seu Art. 1º, inciso IV que proteger o meio ambiente e promover a conservação de energia é um dos objetivos da Política Energética Nacional, e determina, em seu Art. 44º, inciso I que o concessionário está obrigado a adotar medidas para a conservação dos reservatórios e proteção do meio ambiente, e no inciso V, que o mesmo deve responsabilizar-se e indenizar os danos decorrentes das atividades de exploração (Limmer, 2018).

Empreendimentos que possuam atividades potencialmente poluidoras estão sujeitas obrigatoriamente ao licenciamento ambiental (Santiago, 2017). Existem 3 tipos de licenças ambientais, são elas a Licença Prévia (LP), que aprova a concepção do projeto e estabelece os requisitos que deverão ser atendidos durante as próximas etapas; a Licença de Instalação (LI) que aprova o início da instalação e construção do projeto desde

que estejam sendo atendidos os requisitos estabelecidos anteriormente; e Licença de Operação (LO) que autoriza o funcionamento do empreendimento, depois da confirmação de que as medidas de controle ambiental adotadas são eficazes (Lopes, 2020).

A resolução CONAMA Nº 237 de 1997 descreve e estabelece as condições que deverão ser seguidas pela indústria petrolífera, bem como as medidas de controle ambiental que deverão ser tomadas. O empreendimento deverá possuir a Licença Prévia de Perfuração (LPper) que autoriza a perfuração e delimita a área que o empreendedor deseja explorar e a Licença Prévia de Produção para Pesquisa (LPpro) que autoriza a produção para pesquisa da viabilidade econômica da jazida. Para a concessão das licenças, o empreendedor deve apresentar o Estudo de Viabilidade Ambiental (EVA) e o Relatório de Controle Ambiental (RCA) (Lopes, 2020). Para o licenciamento ambiental de indústrias cujas atividades sejam em ambiente marinho ou em zona de transição terra-mar, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) instituiu junto ao IBAMA a necessidade de possuir a Licença de Pesquisa Sísmica (LPS) (Reate, 2020).

5. Ecossistemas marinhos

Os ecossistemas marinhos são ambientes aquáticos com altos níveis de sal dissolvido que se diferem uns dos outros por sua proximidade da costa, profundidade, temperatura e por suas características físicas e biológicas determinadas por fatores bióticos como plantas, animais e micro-organismos, e fatores abióticos como luz, oxigênio e nutrientes que são recebidos e dissolvidos (National Geographic, 2020).

Devido à grande diversidade, os ecossistemas aquáticos podem ser ramificados por suas características. Os recifes de corais são ecossistemas bem diversos, podem hospedar crustáceos, moluscos, peixes, tartarugas, tubarões, golfinhos entre outros; os estuários são locais de encontro das águas do oceano com os rios, podem sustentar muitas comunidades humanas e possuem uma alta quantidade de nutrientes; os manguezais são inundados pela água do oceano com frequência, fazendo com que as raízes de suas árvores fiquem submersas, animais como caranguejos, peixes e camarões vivem entre elas; restingas são planícies arenosas que possuem origem marinha, onde estão incluídos praias e dunas; e nos oceanos há uma variação de ecossistemas de acordo com a sua profundidade e a depender da incidência de luz (National Geographic, 2020; Souza et al., 2018; Booth et al., 2017).

Antes da implementação de uma atividade exploratória é importante conhecer os habitats existentes na região. Além do potencial impacto por vazamento de óleo, há também o impacto da perfuração em si devido à pluma de lama lançada no processo que é depois dispersa pelas correntes marítimas. A lama pode causar alterações na composição física ou química da água afetando áreas como bancos de corais e algas calcárias que possuem importantes funções ecológicas para diversos organismos aquáticos (Gonçalves, 2014).

De acordo com Moreira e Marques (2019), a diferença de densidade entre o óleo e a água faz com que o óleo fique na superfície como manchas que impedem a troca gasosa e afetam a realização da fotossíntese, além de causar a morte de animais que se alimentam nas encostas como as aves, que podem ter suas asas cobertas pelo óleo impedindo o voo e prejudicando seu equilíbrio térmico. Outros animais como as tartarugas que sobem à superfície para respirar também podem morrer presas ou sufocadas pelo óleo. Os mamíferos marinhos como cetáceos, focas e lontras costumam passar grande parte do tempo em superfície seja para nadar, respirar, se alimentar ou descansar. Esses animais dependem de sua pelagem para se aquecer e o contato com o óleo pode causar hipotermia, afogamento ou sufocamento (Saadoun, 2015).

Os processos de intemperismo do ambiente ajudam com a dispersão dos hidrocarbonetos, porém afetam diversos ecossistemas marinhos. Os corais, por exemplo, que possuem uma importante função ecológica por fornecer alimento e funcionar como habitat para diversos animais, gastam uma grande parcela de sua energia para recuperação dos impactos causados pelo petróleo, restando uma pequena quantidade para as funções essenciais como crescimento e reprodução (Pereira J., 2018).

Quando há a dispersão e emulsificação do óleo, um dos primeiros animais a serem afetados são os zooplânctons que por não possuírem locomoção própria, ficam vulneráveis e expostos à contaminação. Os zooplânctons possuem uma posição na base da cadeia alimentar, sua contaminação traz impactos para peixes e baleias de barbatana que se alimentam desses animais (Saadoun, 2015). Os peixes sofrem alterações respiratórias, reprodutivas e cardíacas através do contato com o óleo que pode ser pelas guelras, ingestão de alimentos contaminados como os zooplânctons e pela absorção dos compostos tóxicos na água durante a respiração (Farrington, 2014).

As parcelas mais persistentes do óleo são as que grudam nas asas dos pássaros e pelagem dos mamíferos, além de cobrir superfícies como praias turísticas e prejudicar atividades econômicas desenvolvidas no mar como pesca e aquicultura, trazendo danos aos recursos ecológicos e ao turismo local (Chen et al., 2018).

Os acidentes causados pela extração de petróleo em ambiente marinho ocorrem principalmente nas etapas de extração e perfuração, e podem ser considerados catástrofes ambientais devido ao seu potencial causador de impactos e a sensibilidade ambiental (Ferreira, 2018). No litoral nordestino brasileiro, depois do vazamento de óleo em 2019, foram encontrados diversos peixes, tartarugas e aves cobertas de óleo e alguns animais mortos. Os ecossistemas costeiros possuem uma relação de interdependência, algumas espécies de peixes cujas larvas ocupam os manguezais, se reproduzem no mar, portanto quando um dos ecossistemas é impactado, gera uma reação em cadeia afetando outros (Araujo, Ramalho e Melo, 2020). O vazamento aconteceu na época de reprodução dos animais marinhos, que procuram o litoral quando as águas estão mais quentes, aumentando dessa forma o impacto na fauna local (Fioravanti, 2019).

De acordo com Nunes et al. (2015), os danos causados ao ambiente marinho são imensuráveis em caso de vazamento de óleo. Somente Louisiana, um dos estados afetados pelo acidente Deepwater Horizon em 2010 em águas dos Estados Unidos, abriga mais de 40% dos mangues e pântanos do país. O acidente também afetou praias e estuários ao longo da costa. Esses ecossistemas têm uma grande importância, são parte da rota migratória de três quartos das espécies de aves aquáticas americanas e também funcionam como local de berçário para siris, tartarugas, crustáceos e caranguejos e local de desova do atum-rabilho (Hazen et al., 2016).

6. Resultados e discussões

O petróleo é o combustível fóssil mais utilizado no mundo e possui uma grande importância econômica, uma vez que seu refino gera diversos subprodutos que podem ser aplicados de diferentes formas. Além de gerar energia fóssil, os derivados do petróleo podem servir como manufatura para outros bens de consumo, derivados estes que são amplamente explorados pela indústria química, responsável pela transformação de petróleo em produtos.

Por se tratar da mais importante fonte de combustível da atualidade, suas formas de exploração e uso devem ser pensadas e estudadas de forma a garantir sua maior funcionalidade e consumo sustentável. O potencial causador de impactos no meio ambiente do petróleo existe desde a extração até a utilização, sendo este um recurso energético responsável pela geração de grande parte dos gases de efeito estufa.

De acordo com a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), o consumo do petróleo no mundo deve subir de 90,7 milhões de barris por dia em 2020 para 107,2 milhões de barris por dia em 2030. O relatório de projeção da OPEP também prevê que depois de 2030 a tendência é uma queda na demanda por petróleo devido a questões como uso de carros elétricos e adoção de medidas de eficiência energética (Lawler, 2020). É importante reconhecer e aprofundar a necessidade do uso racional de energia e investir em fontes renováveis como energia solar, eólica e o uso da biomassa que não causam tantos impactos ambientais na sua utilização ou na sua produção.

O aumento da demanda por petróleo e a exploração offshore possibilitou a descoberta de uma quantidade muito maior do óleo do que já havia sido encontrado na costa brasileira, apesar da noção dos impactos que esse campo de exploração causa. Além de contribuir com funções essenciais para o ser humano como o balanço

energético e temperaturas das massas de ar do planeta, os oceanos possuem uma rica biodiversidade. As características sensíveis que definem os ecossistemas marinhos garantem que qualquer alteração não natural a esse ambiente seja impactante e em muitos casos, desastrosa. Nos ambientes terrestres, os derramamentos de petróleo são normalmente confinados a áreas limitadas, e nos oceanos a dispersão é maior podendo atingir regiões distantes do local de derramamento.

De acordo com Costa (2019), o acidente em Deepwater Horizon, causado por um fluxo descontrolado de hidrocarbonetos do poço para o meio ambiente chamado de blowout, é um dos riscos mais críticos em uma plataforma de petróleo, trazendo consequências financeiras, danos à fauna e flora local e à vida humana. Para Pereira R. (2016), as causas para o acidente foram a falha no sistema de resposta e controle do poço, a aprovação em testes iniciais que deveriam ter sido negados e falha em identificar os hidrocarbonetos antes de chegarem na fase final do tubo.

Corrêa (2019) afirma que dois supervisores foram acusados de não conduzir os testes de pressão do poço adequadamente. Sabendo-se do risco e gravidade de uma situação do tipo blowout, uma preocupação maior por parte dos responsáveis deveria ter existido, certificando que houvesse um sistema eficiente de resposta e controle para o caso de acidentes.

O vazamento de óleo no nordeste brasileiro em 2019 atingiu diversas praias, estuários e corais. Escobar (2019) afirma que diversos ambientalistas e a população local criticaram a postura do governo na demora da resposta e aplicação dos métodos de remediação ao vazamento. De acordo com Santos D. (2020), somente depois de 40 dias das primeiras manchas de óleo aparecerem nas praias que o governo determinou o início das investigações.

O conhecimento dos impactos que o vazamento de óleo causa ao meio ambiente e aos ecossistemas marinhos pede que as respostas a esse tipo de acidente sejam imediatas, adotando rapidamente formas de contenção e remediação para evitar que a mancha de óleo se espalhe e afete ainda mais a fauna e flora locais. Os impactos do derramamento do petróleo não são somente ambientais, são também sociais e econômicos, portanto, a preocupação deve ser maior e pública, não é apenas de interesse ecológico. A população que vive de pescaria e aquicultura, por exemplo, é diretamente impactada, afetando sua fonte de renda e de alimentação.

Do ponto de vista ambiental, todas as espécies que vivem ou utilizam o ecossistema para reprodução ou alimentação são afetadas de alguma forma, alguns animais sofrem a morte imediata por não resistir aos efeitos tóxicos dos hidrocarbonetos, outros podem ser contaminados em sua cadeia alimentar por ingestão de animal previamente contaminado através da bioacumulação ou ainda, podem ter sua rota migratória impactada.

Kurylenko e Izosimova (2016) afirmam que as frações do óleo solúveis em água, que são as mais tóxicas, continuam afetando os ecossistemas marinhos mesmo após a remoção das manchas superficiais, logo, a aplicação de técnicas que removam somente as parcelas de óleo visíveis não é suficiente para a restauração do ecossistema impactado pelo vazamento de óleo.

Os processos de remediação têm como objetivo evitar que o óleo chegue à costa, reduzir o impacto na biota marinha e acelerar a degradação dos hidrocarbonetos (Ospr, c2020). Após um derramamento de óleo no oceano, os processos de intemperismo já agem realizando uma limpeza natural do ambiente, porém quanto maior a extensão do vazamento e mais pesados os componentes do óleo, esses processos naturais não são capazes de remediar a área e a intervenção antrópica é necessária. Os métodos de remediação precisam ser aplicados rapidamente, para evitar que o dano se espalhe e atinja a costa.

A escolha da técnica de remediação depende dos fatores ambientais como vento, correntes oceânicas e temperatura; fatores químicos e físicos do óleo derramado como viscosidade, densidade e tamanho da mancha; e fatores econômicos como o custo da operação, que pode ter uma abordagem de limpeza para remoção do óleo, uma abordagem ambiental para mitigação de impactos na flora e fauna, e/ou uma abordagem socioeconômica quando requer intervenção no turismo ou perda de recursos. Custo este que deve ser arcado pela parte responsável pelo vazamento (Prendergast e Gschwend, 2014).

A biorremediação, uma das técnicas mais recomendadas devido a seu caráter natural, depende também da disponibilidade dos micro-organismos capazes de degradar o hidrocarboneto. Para que o processo seja eficiente, é importante que haja uma grande quantidade de micro-organismos, de acordo com Almeida et al. (2017), o ambiente marinho em geral não dispõe dessa abundância. Nesse sentido a intervenção antrópica é necessária a depender da magnitude do vazamento para controle das populações de micro-organismos.

O uso de dispersantes em vazamentos de petróleo offshore traz também alguns impactos negativos para o meio, diversos estudos são realizados para mensurar esses impactos. Um estudo realizado por White et al. (2014), constatou que o dispersante utilizado no acidente Deepwater Horizon possui uma persistência maior do que esperado. O principal agente surfactante do produto foi encontrado em sedimentos superficiais na região 6 meses depois do acidente e em materiais oleosos recolhidos por ONGs até anos depois do vazamento.

Com o aumento da exploração offshore em águas cada vez mais profundas, o risco de acidentes é mais alto devido aos ecossistemas mais frágeis dessas regiões. Conforme evidenciado por Nyankson e Gupta (2015), a prevenção total a este tipo de acidentes não é viável considerando a ocasionalidade de vazamentos de óleo, apesar dos avanços no conhecimento e técnicas. Portanto é importante investir em estratégias e tecnologias que minimizem os riscos e atuem na remediação de forma rápida. A velocidade da implementação de uma ação de resposta a uma mancha de óleo é de grande importância para sua resolução.

Já Ivshina et al. (2015) afirma que ainda é necessário desenvolver melhores tecnologias e soluções de engenharia para contenção e prevenção. Atualmente a mitigação de possíveis riscos está na etapa de design dos equipamentos e técnicas como a prevenção aos blowouts, que consiste na instalação, em todo poço perfurado, de sistemas de segurança que impedem o fluxo de óleo e gás em emergências. A falha desses métodos de prevenção causa acidentes desastrosos, como ocorreu em Deepwater Horizon devido à falta de testes e avanços tecnológicos.

Os autores ainda concluem que uma maior cooperação internacional sobre os planos de contingência e investimento em tecnologias do tipo biorremediação pelas suas características sustentáveis e econômicas aumentariam os padrões de segurança e reduziriam os acidentes. Porém, a prevenção ainda é mais econômica que a remediação e deve ser o foco da indústria no que diz respeito aos avanços tecnológicos (Ivshina et al., 2015).

A indústria offshore expandiu, contudo ainda faltam expansões tecnológicas para acompanhá-la. Os acidentes nesse tipo de produção ainda são recorrentes apesar dos conhecimentos obtidos, técnicas utilizadas e diversas legislações aplicáveis. No Brasil, em 1967 foi promulgada a primeira lei sobre o tema, a Lei nº 5.357, de 17 de novembro de 1967 que foi depois revogada pela Lei nº 9.966 de 28 de abril de 2000, e estabelece penalidades para embarcações que lançarem óleo ou detritos em águas brasileiras e dispõe sobre a fiscalização e prevenção da poluição causada pelo óleo (Aslan, Pinto e Oliveira, 2017).

Ao longo dos anos foram realizadas diversas convenções sobre o tema poluição nos mares, que se tornou mais evidente a partir da década de 70. Aslan, Pinto e Oliveira (2017) citam a Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios (MARPOL) como uma das mais relevantes, cujas diretrizes são seguidas até os dias de hoje, que estabelece regras para a eliminação da poluição intencional do meio ambiente por óleo, porém não dispõe de penalidades mais severas em caso de violação. No Brasil, a partir de determinações em legislações como a Lei 9478/97 e a 9966/00, torna-se obrigatório que o poluidor/degradador seja responsabilizado em caso de dano ambiental.

Contudo, apesar do cumprimento de legislações e realização de um estudo de impacto ambiental, cuja função é mapear os riscos da operação e a partir do seu diagnóstico e magnitude potencial, permitir que sejam criadas ferramentas de controle e prevenção, alguns riscos são inevitáveis na indústria offshore, como por exemplo, os estudos sísmicos. É sabido que as ondas sísmicas emitidas na etapa de prospecção afetam diretamente espécies com sentido auditivo sensível como os cetáceos, que utilizam eco localização para comunicação e alimentação, mas esse estudo é essencial para localizar uma bacia sedimentar que possa conter hidrocarbonetos, então as espécies afetadas nessa etapa são externalidades do processo. Já as atividades

perfuratórias estão sujeitas a gerar resíduos como cascalho e lama, que passam por um processo de limpeza e depois são descartados no oceano com o óleo residual, esse material interfere na biota e no meio físico marinho (Bussmeyer e Henkes, 2015).

A análise de risco se torna necessária nesse sentido, permitindo mapear e identificar os riscos potenciais ordenando-os de acordo com sua probabilidade e consequência, para que estratégias de controle e remediação sejam implementadas. De acordo com Napolini (2018), apesar do avanço científico no conhecimento dos impactos do vazamento de óleo e tecnologias de resposta, não houve um avanço significativo na importância da análise de risco para complementar e enriquecer esses estudos.

Portanto, o desenvolvimento de novas tecnologias de segurança e a elaboração da análise de risco são ferramentas que devem ganhar destaque e investimento, uma vez que podem abrir diversas possibilidades para implementar novas normas, leis e estudos a fim de evitar os impactos negativos das atividades petrolíferas. Enquanto a produção de petróleo é a fonte energética mais utilizada atualmente e a tendência é que permaneça nesse estado durante alguns anos (Epe, 2018), a análise de risco se torna uma metodologia eficiente e em alguns aspectos diferente das atuais, devido aos algoritmos e softwares especializados para calcular as probabilidades de acidentes e facilitando a visão de oferecer novas soluções (Thapa, 2016).

Nesse artigo objetivamos reconhecer a importância do petróleo no mundo moderno, explicando o funcionamento do sistema offshore e das propriedades dos hidrocarbonetos extraídos nesse processo. A compreensão do sistema e das características do óleo possibilitam entender qual é o comportamento do fluido quando entra em contato com o mar e sofre os processos de intemperismo, resultando assim nos impactos que o derramamento de óleo causa aos frágeis ecossistemas marinhos e reforçando a necessidade de conhecimento sobre as formas de remediação existentes e investimento em novas técnicas. De acordo com diversos estudos, a poluição marinha pelo óleo causa danos no funcionamento natural dos ecossistemas, trazendo impactos aos processos metabólicos, produtivos e até à eliminação de organismos, diminuindo assim a diversidade das espécies locais (Kurylenko e Izosimova, 2016).

7. Considerações finais

A partir do estudo e análise das metodologias e conhecimentos prévios no tema, pode-se concluir que o vazamento de petróleo em ambiente marinho afeta de diferentes formas as diversas comunidades que vivem, se alimentam, se reproduzem, migram ou utilizam para fins econômicos os serviços ecossistêmicos. Há um aumento da mortalidade das espécies, uma redução da taxa reprodutiva e do fornecimento de alimentos devido a contaminação do ambiente e toxicidade dos hidrocarbonetos. Esses impactos podem ser sentidos através dos processos físicos e químicos aos quais o petróleo é submetido quando em contato com o mar, denominados intemperismo.

Os processos intempéricos podem ser entendidos como um mecanismo natural do ambiente de agir eliminando o óleo, mas também agem afetando os habitats mais remotos ao local do derramamento através da dispersão, afundamento e sedimentação do petróleo. A compreensão desse comportamento é essencial para a intervenção mitigatória dos impactos, além do conhecimento das propriedades químicas e físicas do composto, da extensão do vazamento e do habitat em questão. Dessa forma é possível escolher o método adequado para remediação, a biorremediação, por exemplo, faz parte dos processos de intemperismo do petróleo, é uma forma de controle natural através da ação de micro-organismos degradadores de hidrocarbonetos e é uma técnica bastante incentivada por não envolver a inserção de agentes externos que podem liberar compostos tóxicos na água como os dispersantes químicos. Porém, a depender da extensão do dano, componentes do óleo, temperatura e fatores oceânicos, a utilização de somente uma técnica pode não ser suficiente, sendo necessária uma combinação entre métodos físicos como instalação de barreiras, métodos biológicos como biorremediação e térmicos, como a queima *in situ*.

A análise de risco funciona como uma ferramenta aliada ao processo de exploração de petróleo offshore,

permitindo que os riscos sejam elencados e que adequadas medidas de controle preventivo e remediação em caso de acidentes sejam propostas. A conscientização a respeito da gravidade de derramamento de óleo é fundamental para que essas ferramentas existentes sejam utilizadas e novas tecnologias sejam propostas, objetivando sempre, reduzir ao mínimo possível os impactos da atividade nos ecossistemas marinhos.

8. Agradecimentos

Os autores agradecem às suas famílias, amigos e aos docentes da instituição de ensino Faculdades Metropolitanas Unidas, em especial à Prof. Dra. Elisangela Ronconi Rodrigues e ao orientador Prof. Me. Jeferson Santos Silva.

9. Referências

Afenyo, M., Veitch, B., & Khan, F. (2016). A state-of-the-art review of fate and transport of oil spills in open and ice-covered water. **Ocean Engineering**, 119(4), 233-248.

Almeida, D. G., Silva, M. G. C., Barbosa, R. N., Silva, D. S. P., Silva, R. O, Lima, G. M. S., Gusmão, N. B., & Sousa, M. F. V. Q. (2017). Biodegradation of marine fuel MF-380 by microbial consortium isolated from seawater near the petrochemical Suape Port, Brazil. **International Biodeterioration & Biodegradation**, 116, 73-82.

Araujo, M. E., Ramalho, C. W. N., & Melo, P. W. (2020). Pescadores artesanais, consumidores e meio ambiente: Consequências imediatas do vazamento de petróleo no estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, 36(1).

Aslan, J. F., Pinto, A. E. M., & Oliveira, M. M. (2017). Poluição do meio ambiente marinho: um breve panorama dos princípios, instrumentos jurídicos e legislação brasileira. **Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas**, 9, 175-186.

Beyer, J., Trannum, H. C., Bakke, T., Hodson, P. V. & Collier, T. K. (2016). Environmental effects of the Deepwater Horizon oil spill: A review. **Marine Pollution Bulletin**, 110(1), 28–51.

Booth, D. J., Poloczanska, E., Donelson, J. M., Molinos, J. G., & Burrows, M. (2017). Biodiversity and Climate Change in the Oceans. **Wiley Online Library**, 4, 63-89.

Braga, D. D. (2017). **Estratégias de controle inteligente para mitigação de golfadas severas em sistemas de produção de petróleo**. Dissertação de mestrado, Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1-148, Brasil.

Britto, A. C. S., Carvalho, C. Z. O. N., & Borba, C. (2016). Prevenção de acidentes ambientais em plataformas offshore. **Caderno De Graduação - Ciências Exatas E Tecnológicas - UNIT**, 3(2), 105–120.

Bussadori, H. S. (2019). Fontes de energia e impactos na sociedade contemporânea. **Revista Resgates**, 9, 105-120.

Bussmeyer, E. C. & Henkes, J. A. (2015). Gestão ambiental na indústria do petróleo: Sistema de gestão ambiental nas sondas de perfuração. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, 3(2), 398-462.

Chen, J., Zhang, W., Li, S., Zhang, F. Zhu, Y., & Huang, X. (2017). Identifying critical factors of oil spill in the tanker shipping industry worldwide. **Journal of Cleaner Production**, 180, 1–10.

Corrêa, A. (2019). **Meio ambiente: o que aconteceu com os responsáveis por um dos maiores desastres dos EUA**. São Paulo, Fev. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Mundo/noticia/2019/02/meio-ambiente-o-que-aconteceu-com-os-responsaveis-por-um-dos-maiores-desastres-dos-eua.html>>. Acesso em: 2/12/2020.

Costa, B. G. S. (2019). **Indicador de confiabilidade da rocha para projetos e acompanhamento da perfuração de poços de petróleo**. Dissertação de mestrado, Ciências e Engenharia de Petróleo na área de Exploração, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1-90, Brasil.

Dellagnezze, B. M., Sousa, G. V., Martins, L. L., Domingos, D. F., Limache, E. E. G., Vasconcellos, S. P., Cruz, G. F., & Oliveira, V. M. (2014). Bioremediation potential of microorganisms derived from petroleum reservoirs. **Marine Pollution Bulletin**, 89(2), 191-200.

Disner, G. R., Torres, M. (2020). The environmental impacts of 2019 oil spill on the Brazilian coast: Overview. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, 7(15), 193-209.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. (2020). **Balço Energético Nacional 2019, Relatório Síntese / Ano Base 2018**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 07/07/2020.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. (2020). **Cenários de Demanda para o PNE 2050**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 17/09/2020.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética (2020). **Matriz Energética e Elétrica**. Brasil, disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 13/11/2020.

Escobar, H. (2019). Mystery oil spill threatens marine sanctuary in Brazil. **Science**, 366(6466), 6-72.

Euzebio, C. S., Rangel, G. S., & Marques, R. C. (2019). Derramamento de petróleo e seus impactos no ambiente e na saúde humana. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, 52, 79-98.

Evans, M., Liu, J., Bacosa, H., Rosenheim, B. E. & Liu, Z. (2017). Petroleum hydrocarbon persistence following the Deepwater Horizon oil spill as a function of shoreline energy. **Marine Pollution Bulletin**, 115, 47–56.

Farrington, J. W. (2014). Oil Pollution in the Marine Environment II: Fates and Effects of Oil Spills. Environment. **Science and Policy for Sustainable Development**, 56(4), 16–31.

FEM: Faculdade de Engenharia Mecânica. (2018). **O que é Petróleo**. Campinas. Disponível em: <https://www.fem.unicamp.br>. Acesso em: 18/10/2020.

Fingas, M. (2017). **Oil Spill Science and Technology: Introduction to Spill Modeling** (2a ed). Gulf Professional Publishing, 419-453.

- Fioravanti, C. (2019). **Os caminhos da mancha**. Revista Pesquisa FAPESP, ed 286, Brasil. Disponível: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/os-caminhos-da-mancha/>>. Acesso em 12/10/2020.
- Ferreira, L. S. (2018). **Identificação de riscos e implicações ambientais na perspectiva do setor de transporte de petróleo por navios no Brasil**. Trabalho de conclusão de curso, graduação em Engenharia de Petróleo e Gás. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 1-60, Brasil.
- Gonçalves, M. M. (2014). **Avaliação do Indicador do Meio Ambiente para Selecionar um Sistema Marítimo de Produção de Petróleo**. Dissertação de mestrado, Exploração, Reservatórios e Gestão. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1-134, Brasil.
- Hazen, E. L., Carlisle, A. B., Wilson, S. G., Ganong, J. E., Castleton, M. R., Schallert, R. J., Stokesbury, M. J. W., Bograd, S. J. & Block, B. A. (2016). Quantifying overlap between the deepwater horizon oil spill and predicted bluefin tuna spawning habitat in the Gulf of Mexico. **Scientific Reports**, 6(33824).
- IPIECA - IOGP. (2015). **Aerial observation of oil spills at sea: Good practice guidelines for incident management and emergency response personnel**. London. Disponível em: <<https://www.ipieca.org/resources/good-practice/aerial-observation-of-oil-spills-at-sea/>>. Acesso em: 10/10/2020.
- Ivshina, I. B., Kuyukina, M. S., Krivoruchko, A. V., Elkin, A. A., Makarov, S. O., Cunningham, C. J., Peshkur, T. A., Atlas, R. M., & Philp, J. C. (2015). Oil spill problems and sustainable response strategies through new technologies. **Environmental Science: Processes & Impacts**, 17(7), 1201-1219.
- Jaligama, S., Chen, Z., Saravia, J., Yadav, N., Lomnicki, S. M., Dugas, T. R., & Cormier, S. A. (2015). Exposure to Deepwater Horizon Crude Oil Burnoff Particulate Matter Induces Pulmonary Inflammation and Alters Adaptive Immune Response. **Environmental Science & Technology**, 49(14), 69-76.
- Kurylenko, V., & Izosimova, O. (2016). Study of the Impact of Petroleum Hydrocarbons on Sea Organism. **Journal of Ecological Engineering**, 17(1), 26-29.
- Lawler, A. (2020). **Opep passa a ver platô na demanda por petróleo ao final da década de 2030**. Londres. Disponível em: <<https://uk.reuters.com/article/oil-opec-outlook-idBRKBN26T2Q7-OBRBS>>. Acesso em: 1/11/2020.
- Limmer, F. C. (2018). O Licenciamento ambiental da indústria petrolífera. **Revista Brasileira de Direito do Petróleo, Gás e Energia**, 5(1), 225-242.
- Lopes, S. M. (2020). **O que diz a Resolução Conama 237/97**. Viçosa. Disponível em: <<https://www.matanativa.com.br/resolucao-conama-237-97/>>. Acesso em: 24/08/2020.
- Martinho, H. M. G. (2016). Petróleo no ambiente marinho e os impactos ambientais e socioeconômicos. **Atas de Saúde Ambiental**, 4(1), 1-16.
- Martins, L. L. (2014). Terpanos pentacíclicos como indicadores de heterogeneidades composicionais em reservatório de petróleo biodegradado. **Quím. Nova**, 37(8), 1263-1268.

- Miranda, L. S., Anjos, J. A. S. A., & Moreira, I. T. A. (2014). Avaliação de Tecnologias de Remediação em Zonas Costeiras Impactadas Pela Indústria de Petróleo. **Revista Eletrônica de Energia**, 4(1), 19-37.
- Mishra, A. K., & Kumar, G. S. (2015). Weathering of Oil Spill: Modeling and Analysis. **Aquatic Procedia**, 4, 435-442.
- Morais, J. M. (2013). **Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da Petrobras na exploração e produção offshore**. Brasília: Ipea – Petrobras, 1-424.
- Moreira, E. T. A., & Marques, I. M. (2019). Biorremediação de áreas costeiras impactadas por Petróleo. **Seminário estudantil de produção acadêmica UNIFACS**, 18, 1-25.
- Naspolini, G. F. (2018). **Prevenção e resposta ao derramamento de petróleo na exploração e produção offshore: Análise internacional e recomendações para o Brasil**. Dissertação de mestrado, Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1-169, Brasil.
- National Geographic. (2020). **Marine Ecosystems**. Washington, DC. Disponível em: <<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/marine-ecosystems/>>. Acesso em: 14/10/2020.
- Nixon, Z., Zengel, S., Baker, M., Steinhoff, M., Fricano, F.; Rouhani, S., & Michel, J. (2016). Shoreline oiling from the Deepwater Horizon oil spill. **Marine Pollution Bulletin**, 107(1), 170–178.
- Nunes, F. C., Santos, L. S., Esper, F. J., Cortes, G. R. M., & Zacharias, J. M. (2015). Impactos ambientais causados por vazamento de petróleo no Golfo do México. **I Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**, Campina Grande, Brasil, 1-8.
- Nyankson, E., Rodene, D., & Gupta, R. B. (2015). Advancements in Crude Oil Spill Remediation Research After the Deepwater Horizon Oil Spill. **Water, Air, & Soil Pollution**, 227(29), 1-22.
- Oliveira, C. M. (2017). **Análise paramétrica do projeto bidimensional de plataformas offshore do tipo jaqueta baseado em técnicas de otimização e elementos finitos**. Dissertação de bacharelado, Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 1-78, Brasil.
- OSPR - Office of Spill Prevention and Response. (2020c). **Oil spill cleanup**. California. Disponível em: <<http://www.oilspillprevention.org/oil-spill-cleanup>>. Acesso em: 15/10/2020.
- Pereira, J. E. S. (2018). **Prospecção e Caracterização Para a Biorremediação de Ambientes Marinhos Contaminados por Petróleo e Misturas de Óleo Diesel/Biodiesel**. Tese de mestrado, Biologia Celular e Molecular, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 1-197, Brasil.
- Pereira, M. M. C., & Haddad, A. N. (2019). Riscos ambientais da exploração de petróleo offshore: Uma análise comparativa das atividades na costa brasileira. **Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, X, IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais**. Fortaleza, Brasil, 1-7.
- Pereira, R. F. (2016). **Análise do Deepwater Horizon Blowout: Aplicação dos Métodos FRAM e STAMP**. Dissertação de mestrado, Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1-107, Brasil.

Petrobras (2018). Plano Estratégico Petrobras 2030, **Plano de negócios e gestão 2014-2018**.

Petrobras. **Fatos e dados**. (2015a). Brasil. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/conhecamos-diferentes-tipos-de-pocos-de-petroleo-e-gas-natural.htm>>. Acesso em: 19/10/2020.

Petrobras. **Fatos e dados**. (2015b). Brasil. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/conhecacuriosidades-sobre-equipamentos-de-nossos-sistemas-submarinos.htm>>. Acesso em: 19/10/2020.

Prendergast, D. P., & Gschwend, P. M. (2014). Assessing the performance and cost of oil spill remediation technologies. **Journal of Cleaner Production**, 78, 233–242.

REATE. (2020). **Comitê para revitalização das atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural em áreas terrestres: Relatório do Subcomitê de Licenciamento Ambiental**. Brasil. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/ministerio-de-minas-e-energia-publica-relatorios-finais-do-comite-reate-2020>>. Acesso em: 15/10/2020.

Rodrigues, E. M., & Totola, M. R. (2015). Petroleum: From basic features to hydrocarbon bioremediation in oceans. **Open Access Library Journal**, 02(11), 1-17.

Saadoun, I. M. K. (2015). Impact of Oil Spills on Marine Life: Emerging Pollutants in the Environment - Current and Further Implications. **IntechOpen**, 2-239.

Santiago, L. C. (2017). **Análise do processo de licenciamento ambiental para perfuração nas atividades de E&P offshore de petróleo e gás natural**. Trabalho de conclusão de curso, Engenharia ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1-140, Brasil.

Santos, D. (2019). **O que se sabe até agora sobre o derramamento de óleo no Nordeste**. Brasil. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?73944/O-que-se-sabe-ate-agora-sobre-o-derramamento-de-oleo-no-Nordeste>>. Acesso em: 2/11/2020.

Santos, V. C. P., & Silva, D. J. R. (2019). Análise física de amostras de petróleo na bacia de SE-AL utilizando o método do densímetro do API. **Cadernos de Graduação: ciências exatas e tecnológicas – Engenharia de Petróleo**, 5(3), 53-60.

Silva, L. (2014). **Análise modal e controle de plataformas offshore sujeitas a perturbações persistentes**. Dissertação de mestrado, Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 1-121, Brasil.

Souza, C. A., Duarte, L. F. A., João, M. C. A., & Pinheiro, M. A. A. (2018). **Educação ambiental sobre manguezais** (1a ed.). São Paulo, Universidade Estadual Paulista UNESP, 1-165.

Tarr, M. A., Zito, P., Overton, E. B., Olson, G. M., Adhikari, P. L., & Reddy, C. M. (2016). Weathering of Oil Spilled in the Marine Environment. **Oceanography**, 29(3), 126-35.

Thapa, P. B. (2016). **Oil Gas Offshore Safety Case (Risk Assessment)**. Canada: Research Gate, 1-44.

Walker, A. H. (2017). **Oil Spill Science and Technology: Oil Spills and Risk Perceptions** (2a ed.). Canada: Gulf Professional Publishing, 1-1078.

White, H. K., Lyons, S. L., Harrison, S. J., Findley, D. M., Liu, Y., & Kujawinski, E. R. (2014). Long-Term Persistence of Dispersants following the Deepwater Horizon Oil Spill. **Environmental Science & Technology**, 7, 295-299.

Zanirato, S. H., Rotondaro, T. (2016). Consumo, um dos dilemas da sustentabilidade. **Estudos avançados**, 30(88), 77-92.