

THABATA LIMA ARAUJO REIS

Os dez maiores acidentes de petróleo *offshore* em volume de óleo derramado

São Paulo
(2020)

THABATA LIMA ARAUJO REIS

Os dez maiores acidentes de petróleo *offshore* em volume de óleo derramado

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação em Engenharia de Petróleo do
Departamento de Engenharia de Minas e de
Petróleo da Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo

Orientadora: Prof^a Dra. Regina Meyer Branski

São Paulo

(2020)

THABATA LIMA ARAUJO REIS

Os dez maiores acidentes de petróleo *offshore* em volume de óleo derramado

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação em Engenharia de Petróleo do
Departamento de Engenharia de Minas e de
Petróleo da Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo

Área de Concentração: Petróleo

Orientadora: Prof^a. Dra. Regina Meyer Branski

São Paulo

(2020)

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

Será inserida aqui a Ficha obtida em:
<http://www.poli.usp.br/bibliotecas/servicos/catalogacao-na-publicacao.html>
após o preenchimento dos dados do formulário

RESUMO

Ao longo da história da indústria do petróleo, diversos acidentes provocaram derramamento de óleo em mar. Derramamentos, mesmo que pequenos, podem ser graves e resultar em impactos severos ao meio ambiente. O objetivo do trabalho é identificar os dez maiores acidentes de petróleo *offshore* em volume de óleo derramado da história utilizando como metodologia a Revisão Sistemática da Literatura. Foram comparadas causas, consequências, ações executadas para mitigação e prevenção dos acidentes. O estudo mostrou que as principais causas dos acidentes foram falhas humanas, condições climáticas extremas e falta de reparo e manutenção das embarcações. A maior parte dos acidentes teve como consequência a morte de pessoas a bordo e impactos à natureza. Dentre as medidas mitigadoras identificadas estão o uso de barragens flutuantes de contenção, barricadas de areia e dispersantes. A indústria do petróleo buscou, ao longo do tempo, aprimorar as regras e práticas buscando maior segurança dos processos, tanto para o homem quanto para o meio ambiente. Ainda assim, dificilmente os efeitos dos derramamentos foram completamente restaurados no curto prazo e, em alguns casos, foram necessários anos de acompanhamento do ambiente afetado.

Palavras-Chave: Petróleo. *Offshore*. Acidentes. Causas e consequências. Prevenção. Revisão Sistemática da Literatura. Derramamento.

ABSTRACT

During the oil industry history, several accidents have caused offshore oil spills. Even the small ones can be serious and can result in severe impacts to the environment. This study aim is to identify the ten largest offshore petroleum spills in volume dropped in history using as methodology the Literature Systematic Review. Were compared its causes, consequences, actions to mitigate and prevent. The study showed that the main accident causes were humans' mistakes, extreme weather conditions and lack of repair and maintenance on vessels. Most accidents had as consequence death of people on board and nature impacts. Among the mitigating measures identified are the use of floating dams of containment, sand barricades and dispersants. The petroleum industry has improved, over the time, spills rules and practices to be increasingly safer, both to humans and environment. Even so, hardly the effects were completely restored in the short term and, in some cases, monitoring the affected environment has been necessary for years.

Keywords: Petroleum. Offshore. Accidents. Causes and consequences. Prevention. Literature Systematic Review. Spill.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	OBJETIVO	8
3	REVISÃO DA LITERATURA	9
3.1	Exploração e produção de petróleo <i>offshore</i>	9
3.2	Riscos da exploração e produção de petróleo <i>offshore</i> ...	13
3.3	Acidentes <i>offshore</i> e consequências	15
4	METODOLOGIA	20
5	OS DEZ MAIORES DERRAMAMENTOS	22
5.1	Guerra do Golfo	23
5.2	Deepwater Horizon	26
5.3	Ixtoc 1	28
5.4	Atlantic Empress	30
5.5	Nowruz Oil Field	32
5.6	ABT Summer	34
5.7	Castillo de Bellver	35
5.8	Amoco Cadiz	37
5.9	MT Haven	39
5.10	Odyssey	41
6	ANÁLISE COMPARATIVA DOS DERRAMAMENTOS DE PETRÓLEO	43
7	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

O gradual esgotamento de reservas em terra (*onshore*) e os importantes avanços tecnológicos das últimas décadas fizeram com que crescesse a exploração de petróleo no mar (*offshore*), em reservas cada vez mais distantes da costa. As complexidades e os custos envolvidos na exploração e produção (E&P) de petróleo em condições tão adversas são grandes, assim como o risco da ocorrência de acidentes.

Ao longo da história da indústria do petróleo, diversos acidentes provocaram derramamento de óleo em mar. Derramamentos, mesmo que pequenos, podem ser graves e resultar em impactos severos ao meio ambiente. A indústria do petróleo aprimorou, ao longo do tempo, as regras e práticas para prevenir derramamentos buscando cada vez mais segurança para o homem e para o meio ambiente.

Apesar do aumento na eficiência e na prevenção, acidentes dessa natureza podem apresentar impactos devastadores e muitas vezes irreversíveis. É comum observar após acidentes de grande porte, como os que serão estudados, a fragilização dos ecossistemas marinho e costeiro, com a contaminação de mamíferos marinhos, pássaros, peixes e demais animais desse *habitat*. O desequilíbrio ecológico causado pelo derramamento de óleo em mar inicia-se já pela contaminação de plânctons, que se encontram na base da cadeia alimentar, podendo gerar inúmeros desdobramentos.

Derramamentos podem ser ocasionados por ações humanas irresponsáveis – inclusive guerras – condições climáticas extremas, falta de manutenção das embarcações, acidentes durante o transporte do óleo, entre outros.

Se, por um lado, acidentes podem causar diversos tipos de danos, por outro podem trazer aprendizado, resultando em ações preventivas e modificações na legislação, além de impor penalizações às empresas envolvidas para que o cenário não se repita.

2 OBJETIVO

O trabalho tem como objetivo comparar os dez maiores acidentes em volume de óleo derramado em ambiente marinho. Serão analisadas suas causas, consequências, ações executadas para mitigação e prevenção de novas ocorrências.

Para isso, foi necessário:

- Identificar os dez maiores acidentes em volume de óleo derramado;
- Buscar na literatura artigos abordando o assunto;
- Identificar, para cada acidente, os elementos de comparação;
- Elaborar quadro comparativo e analisar os resultados.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Exploração e produção de petróleo *offshore*

As atividades petrolíferas usualmente são vistas como perigosas e poluidoras devido à associação feita com os graves acidentes já ocorridos, derramamentos em mar e atividades rotineiras que podem ser consideradas de alto risco.

As atividades de exploração e produção envolvem a manipulação de substâncias inflamáveis, em altas temperaturas e pressão que, às vezes, contêm gases muito tóxicos. Os principais riscos estão essencialmente associados ao escape de hidrocarbonetos e outras substâncias perigosas que podem causar incêndio, explosões e contaminação. Há outros perigos inerentes à própria natureza dos meios e processos envolvidos, tais como combustão contínua, que pode causar altos níveis de radiação térmica, ou objetos pesados e volumosos que são difíceis de manobrar (BRET-ROUZAUT, 2011, p. 334).

Os procedimentos de exploração propriamente ditos iniciam-se após a busca por reservas de petróleo desenvolvida para prospectar e identificar depósitos de óleo com volume e qualidade suficientes para valer o investimento da extração. É a atividade responsável por medir o risco intrínseco ao poço, haja vista que a seleção do poço é feita com base em estudos probabilísticos e econômicos. Até então, tudo não passa de um conjunto de suposições.

Para confirmar a existência de petróleo, é necessário perfurar um poço exploratório. São acionados os analistas de poços, engenheiros petrofísicos, engenheiros de perfuração e de operações. Para todos os casos de reservas *offshore*, é convocada uma reunião antes da perfuração para que o plano do poço seja revisado e, principalmente, para que possam ser identificados e discutidos quaisquer perigos e toda a equipe saiba como atuar durante toda a operação (BRET-ROUZAUT, 2011).

De acordo com o Oil & Gas Portal (2017), uma sequência de atividades é respeitada atualmente para que a escolha do ponto de perfuração seja a mais certa possível:

- Criação de uma base de dados;
- Análise da informação disponível;
- Programação de mapeamento e pesquisas geológicas e foto-geológicas;
- Pesquisas sísmicas e interpretação de dados sísmicos;
- Escolha da localização dos poços e perfuração;
- Análise dos resultados e decisão de proceder com a aplicação de uma concessão ou liberar a área depois de concluir suas obrigações.

Todas as atividades devem ser planejadas antes da perfuração do poço para prever os custos, requisitos, e problemas que possam surgir ao longo do projeto. O desenvolvimento do plano do poço é uma das responsabilidades do engenheiro de perfuração. Também fazem parte das suas funções: estimar o custo do poço, pesquisar as opções de equipamentos para perfuração e selecionar a ideal, liderar a perfuração em si e a completação – ou abandono – do poço. As demais atividades, como selecionar os fornecedores de serviços e avaliar o poço, envolvem toda equipe, não se concentrando apenas no engenheiro de perfuração (BRET-ROUZAUT, 2011).

Segundo Leffler *et al.* (2011), após a aprovação do plano de perfuração, seleção e instalação dos equipamentos para o início do procedimento, são verificados todos os controles para acompanhamento de pressão do poço. Essa é a maior preocupação do engenheiro de perfuração, dado que quanto mais profundo o poço fica, maior é a coluna de rocha e água acima da broca e, conseqüentemente, maior é a pressão de trabalho.

Uma das dificuldades está na definição do fluido (ou lama) de perfuração. Esse fluido é utilizado para limpar o poço (retirar os cascalhos), estabilizar sua pressão, lubrificar e resfriar a broca, auxiliar na perfuração ao fazer pressão sobre a rocha, promover a rotação da broca e servir como barreira de segurança (AZEVEDO, 2019). Dependendo do peso do fluido, podem ocorrer três situações:

- 1) Se o fluido não for pesado o bastante, pode ceder à pressão do poço e fazer com que óleo e o gás sejam jogados para fora do poço. Nessa situação é necessário fechar imediatamente o *blowout preventer (BOP)*, sistema de

prevenção instalado na cabeça do poço para proteger as operações de perfuração, as pessoas e o meio ambiente contra *kicks* (influxos) e *blowouts* (explosões);

- 2) Se o fluido for mais pesado que o ideal, somado ao peso da rocha, pode acabar fraturando lateralmente o poço;
- 3) Se o fluido for ideal, mantém a integridade do poço e qualquer hidrocarboneto encontrado é mantido na formação até que o poço possa ser avaliado e completado.

Os equipamentos de perfuração são posicionados utilizando propulsores (posicionamento dinâmico) e tem início o procedimento. Uma das ferramentas mais importantes nessa fase é a *Measure While Drilling (MWD)*, requisitada pelo engenheiro petrofísico para acessar a litologia enquanto o poço é perfurado e determinar a presença de hidrocarbonetos. Essa será uma das informações usadas para analisar o sucesso ou fracasso do poço (BRET-ROUZAUT, 2011).

É importante ressaltar que, antes de qualquer operação de perfuração, é instalado o sistema de prevenção contra explosões (*BOP*). Trata-se do mecanismo de segurança mais importante do poço, podendo evitar qualquer refluxo atípico ou até mesmo uma grande explosão. Dependendo do tipo de plataforma, esse equipamento pode ser posicionado na cabeça do revestimento do poço no fundo do mar ou logo abaixo do equipamento de perfuração na superfície (LEFFLER *et al.*, 2011).

Alcançada a profundidade desejada para o poço, é realizado o “Teste de Formação” ou simplesmente “Teste de Poço”. O objetivo é avaliar se o fluxo de hidrocarbonetos das regiões ainda não revestidas atinge as expectativas de produção. Juntamente à outras informações já coletadas, o teste terá grande peso na próxima importante decisão a ser tomada: completar ou não o poço (AZEVEDO, 2019).

A completação é um procedimento no qual todos os equipamentos necessários para viabilizar a produção daquele poço são alocados em suas posições, testados e aprovados para que possa, finalmente, ser extraído óleo e gás para comercialização.

Então o que falta para completar? Para produzir óleo e gás efetivamente, o poço tem que ter um *casing run* adicional; a tubulação pela qual a produção flui deve ser colocada no lugar; o revestimento deve ser perfurado abaixo da tubulação para que o óleo e o gás fluam; a árvore deve ser instalada no topo do poço; dispositivos de segurança devem ser alocados; e em qualquer reservatório de areia em que seja produzido hidrocarboneto, um conjunto deve ser instalado para que a areia não entupa o poço. (LEFFLER *et al.*, 2011, p. 125).

Ao final do procedimento, o fluido de completação é trocado por um fluido permanente, com inibidores de corrosão. Além disso, para garantir a integridade do poço, o *BOP* é removido e substituído, instantaneamente, pela árvore de natal. A árvore de natal, ou árvore molhada, ou simplesmente árvore, consiste numa haste central com várias válvulas, bocais e alças que formam um dispositivo capaz de controlar o fluxo do poço. Esse será o sistema responsável pela segurança principal do poço, antes realizada pelo *BOP*.

Yamamoto (2015) divide o estudo de sonda de perfuração em cinco diferentes sistemas, sendo cada um responsável por uma etapa do processo de produção do poço: sistema de circulação, sistema de rotação, sistema de movimentação de carga, sistema de medição e controle, e sistema de segurança do poço. Neste trabalho, o maior interesse está na compreensão do último sistema, o de segurança do poço, no que diz respeito ao seu planejamento, execução e, principalmente, falha.

Os desenvolvedores do sistema de segurança, bem como os operadores que lidam com ele na prática, são os responsáveis pela segurança de todos que operam e encontram-se nas proximidades dos equipamentos mais complexos, que por si só já apresentam grandes riscos. Todos os procedimentos precisam de testes, manutenção e calibragem frequentes, para manter todos os dispositivos de segurança em último nível de checagem, diminuindo ao máximo as chances de falha.

Se os controles de processamento sempre funcionassem, se os equipamentos nunca falhassem, e se o pessoal sempre fosse cuidadoso, segurança não teria que ser sistêmica. Porém isso não acontece. O estágio de projeto dos equipamentos e instalações integra segurança com operações. Na prática, isso pede por medições de pressão e temperatura e outros parâmetros de operação em vários lugares da plataforma, com *loops* de resposta que permitem correções ou encerramento se o processo ficar fora dos limites de segurança. Isso também significa usar material retardador de fogo revestindo as estruturas, lavar as estações que podem ser necessárias, sistemas de detecção de perigo, sistemas de borrifamento, e outros aparatos de controle de danos. (LEFFLER *et al.*, 2011, p. 271).

Segundo Leffler *et al.* (2011), durante as operações de treinamento, ainda na fase de desenvolvimento do sistema de segurança da plataforma, toda a equipe aprende a identificar os níveis de perigo que podem vir a enfrentar e como reagir a cada um deles, inclusive a um estado de calamidade total.

Se uma falha muito séria acontecer, a tripulação deve escapar pelos botes salvavidas e deixar a plataforma. Essas cápsulas de escape devem ser instaladas em posições estratégicas da plataforma, permitindo que, em caso de explosão, fogo incontrolável, ou falha na plataforma, todos consigam acesso a eles. Geralmente, uma plataforma tem botes suficientes para transportar uma tripulação e meia, e o dinheiro investido em segurança, em sua totalidade, chega a corresponder a metade dos maiores custos de uma plataforma (LEFFLER *et al.*, 2011).

Os derramamentos também podem estar associados, além de causas por falhas mecânicas ou humanas em plataformas, à condições climáticas extremas ou à acidentes em embarcações de transporte de petróleo, por exemplo.

3.2 Riscos da exploração e produção de petróleo *offshore*

Cada atividade apresenta seu grau de risco envolvido, podendo incluir erros humanos, falhas em equipamentos e sistemas de controle e operação, manuseio de materiais perigosos ou até condições ambientais extremas. As operações de exploração e produção de petróleo *offshore* estão sujeitas a todos esses riscos.

No caso de falhas humanas, a ausência de uma figura forte na liderança ou uma postura de pouca disciplina por parte da equipe pode ocasionar um acidente. Além disso, podem gerar falhas: a falta de habilidade, conhecimento e treinamento das equipes responsáveis pelas atividades desenvolvidas em plataforma.

Já falhas de equipamentos e controles podem ocorrer por falta de conservação e reparo dos materiais e ferramentas, uso inapropriado de materiais na construção ou até falha no projeto inicial desenvolvido para aquela operação. O conhecimento e uso correto dos dispositivos tecnológicos é de suma importância na indústria do petróleo, dado que qualquer falha no controle pode ocasionar um incidente. É necessário que haja um controle de desligamento automático de equipamentos em caso de falha.

Em casos de desastres naturais, o essencial é que todas as instâncias estejam em estado de alerta para lidar com as condições ambientais extremas nas regiões de maiores riscos. Os principais indicadores devem estar no radar constantemente e os órgãos responsáveis, como a marinha e a aeronáutica, acompanhando em tempo real para tomarem ações imediatas em caso de emergência. (ISMAIL *et al.*, 2014)

No caso de plataformas em águas profundas, há alguns problemas especiais que devem ser pontuados: a presença de correntes de vento e redemoinhos, perigos ocasionados por problemas geológicos rasos (a menos de mil pés abaixo do solo marinho), fluxos de água em camadas de areia de até 2,5 mil pés que apresentaram alguma pressão extra durante a deposição original, a própria complexidade das reservas profundas (cada uma com sua particularidade, algumas nunca antes vistas) e problemas com a performance da reserva pelas baixas pressões na formação e com a pressão de gás, podendo bloquear a cabeça do poço e as linhas de fluxo. (ISMAIL *et al.*, 2014)

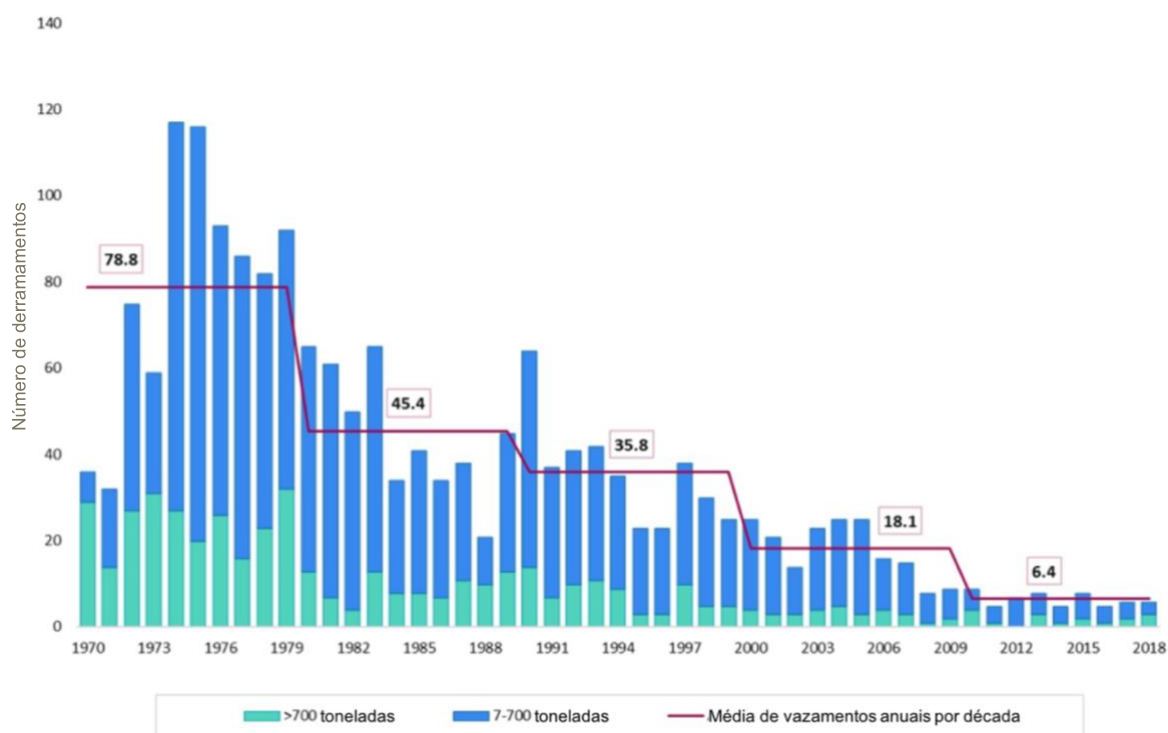
De acordo com Ismail *et al.* (2014), a segurança industrial e ambiental pode ser melhorada aplicando sistemas de riscos e operações, análise de riscos, auditoria técnica e inspeção, e proteção inerente à indústria e ao meio ambiente. Outras formas de reduzir o número de acidentes são: fornecer treinamentos aos trabalhadores contratados para que todos estejam aptos a seguir as instruções e as rotas de fuga previamente determinadas nas plataformas, limitar autoridades e linhas de comando, possuir rápida resposta de emergência e evacuação, prover equipamento de proteção pessoal e treinamento de sobrevivência e primeiros-socorros aos trabalhadores.

3.3 Acidentes *offshore* e consequências

Segundo o Internacional Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF, 2019) entre 1970 e 2018 foram registradas mais de 10 mil ocorrências de derramamento de petróleo *offshore* pelo mundo. Estão incluídas nesse registro todas as categorias de acidentes: pequenos (menos de 7 toneladas de óleo derramado), médios (de 7 toneladas a 700 toneladas) e grandes (mais de 700 toneladas). Mais de 8,1 mil desses acidentes são de pequeno porte. Foram considerados de médio ou grande porte 1.845 acidentes, ou seja, menos de 20% do total registrado no ITOPF. Dentre os maiores, estão o da Guerra do Golfo em 1991 no Kuwait (mais de 260 milhões de galões derramados) e o de Deepwater Horizon em 2010 no Golfo do México (210 milhões de galões de derramamento), que serão detalhados mais adiante.

Os dados das últimas décadas mostram uma contínua e gradual diminuição no número de acidentes petrolíferos. Principalmente se analisados a cada dez anos, as reduções tanto em acidentes de médio porte quanto de grande porte são bastante significativas, como pode ser observado na Figura 1.

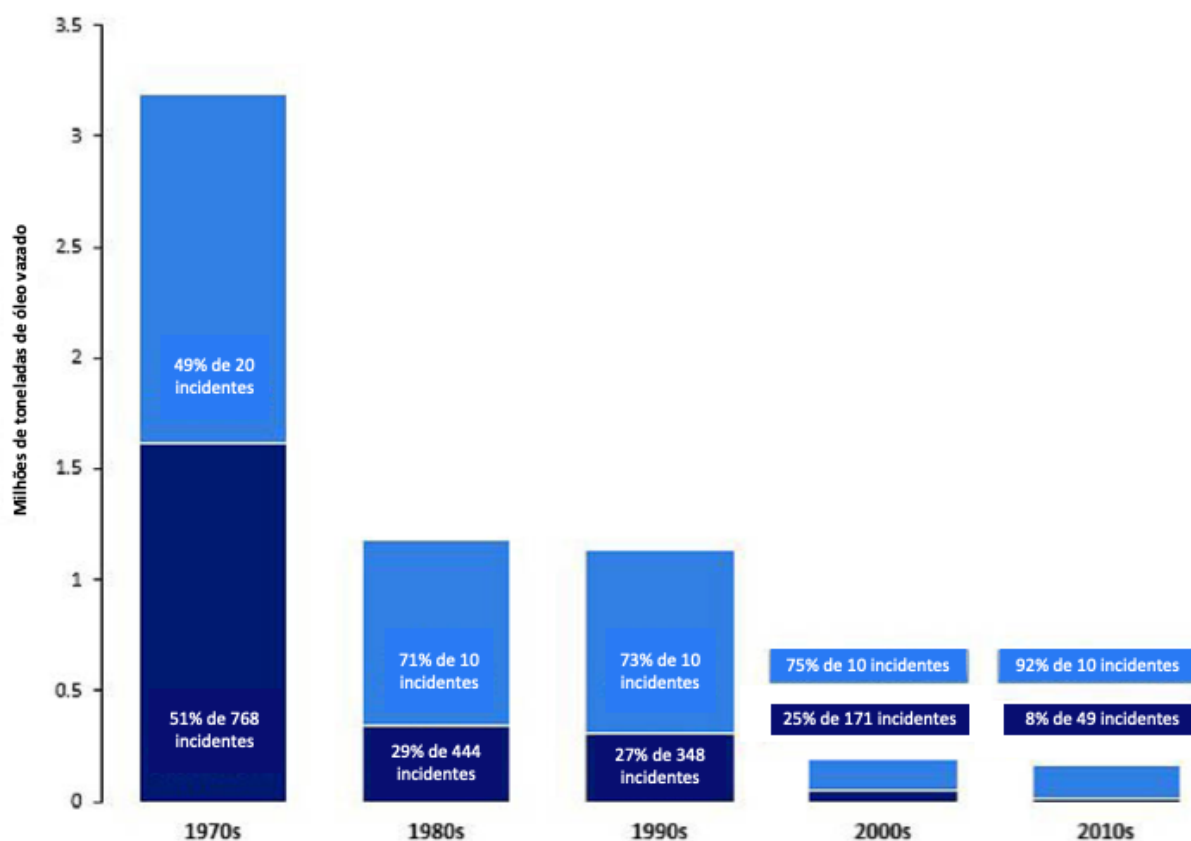
Figura 1: Número de derramamentos anuais de médio e grande porte.



Fonte: ITOPF (2019)

Observando a frequência e o volume de óleo derramado, nota-se que poucos derramamentos são responsáveis por um elevado percentual do total desse óleo. Nos anos de 1990, dos 358 vazamentos acima de 7 toneladas, apenas 10 deles respondem por 73% do óleo derramado. Da mesma forma, na década de 2000, dos 181 acidentes com mais de 7 toneladas derramadas, 10 foram responsáveis por 75% do óleo liberado. Trata-se de uma tendência estendida aos demais períodos analisados, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2: Relação da frequência com a quantidade de óleo derramado por década para derramamentos acima de 7 toneladas de óleo.



Fonte: ITOPF (2019)

Ainda segundo o ITOPF (2019), no período de 1970 a 2018, metade dos grandes derramamentos (aproximadamente 460 acidentes com mais de 700 toneladas de óleo derramados) ocorreram em águas abertas. Desses acidentes, 58% ocorreram por alocações, colisões ou aterramentos.

De acordo com a ThoughtCo (2019), dentre as principais consequências de derramamentos de óleo para o meio ambiente, estão:

- 1) A fragilização de ecossistemas de mares, pântanos e praias: por toda a área pela qual o óleo se espalha, a vida submersa é encoberta da luz solar, impedindo com que grande parte dos seres aquáticos fotossintéticos sobrevivam; o desequilíbrio ecológico gerado pela camada de petróleo afeta

diferentes níveis da cadeia alimentar e gera, ao longo do tempo, completa destruição do ecossistema daquela área.

- 2) Ferimentos e mortes de pássaros: tanto para pássaros migratórios quanto para pássaros marinhos, que acabam precisando mergulhar em busca de alimento, são muito severas as consequências de um derramamento de petróleo; seus pelos podem ser encobertos por óleo, o que destrói sua capacidade de voo, provoca impermeabilidade e isolamento de calor, levando à morte; além disso, podem acabar engolindo água contaminada da superfície do mar e danificando seus órgãos internos.
- 3) Contaminação de mamíferos marinhos: assim como com os pássaros, o óleo pode encobrir a pele dos mamíferos e torná-los vulneráveis à hipotermia; além disso, o petróleo pode obstruir seus respiradouros e impedir, além de sua respiração, sua comunicação; outra forma de fácil contaminação é através da alimentação de peixes e outros animais já envenenados, facilitando a dissipação da contaminação entre as espécies.
- 4) Peixes e demais animais marinhos: da mesma forma como pássaros e mamíferos aquáticos são contaminados, peixes, camarões, lagostas e outras espécies de vida marinha podem se alimentar ou entrar em contato com a água contendo óleo; as consequências são tão sérias que em um único acidente podem ser mortos bilhões de peixes, de recuperação improvável.
- 5) Destruição do habitat animal e de terrenos férteis: trata-se de uma das consequências a mais longo prazo de um derramamento de óleo; o petróleo pode afetar os animais à caminho da praia para deixar seus ovos ou pode entrar em contato com o ovo diretamente, na beira da praia; as duas maneiras de contato são igualmente prejudiciais ao meio ambiente e ao equilíbrio do ecossistema.

Assim, infere-se que são inúmeros os danos causados ao meio ambiente. A intensidade dos danos depende de alguns fatores como quantidade, tipo e peso do óleo derramado, localização do derramamento e espécies ali existentes, momento do ciclo reprodutivo e migrações sazonais dos animais, além do clima durante e após o acidente.

Segundo Li *et al.* (2016), fatores limitantes como águas e temperaturas frias, ventos fortes, mares agitados, cobertura de gelo e baixa visibilidade podem dificultar as operações e esforços de limpeza. O uso de métodos químicos foi crescente dada sua eficiência e vantagens de biodegradação. Já os métodos físicos e mecânicos são amplamente utilizados, mas recomendados para vazamentos de certas escalas e tipo de óleo derramado para que tenham uma aplicação mais eficiente.

Segundo Grubestic *et al.* (2017), a combinação de programas de simulação e modelagem de derramamentos de óleo com um modelo de resposta tática flexível permite planejar e variar cada aspecto do vazamento, como o volume, a trajetória das gotículas, o clima, variações espaciais e temporais, parâmetros de custos, além de permitir ajustar a meta de limpeza, fazendo com que os esforços de limpeza correspondam melhor ao potencial impacto do derramamento.

Comparar os dez maiores acidentes e identificar suas causas, ações mitigadoras e consequências pode contribuir para a identificação das melhores práticas e para o estabelecimento de ações preventivas.

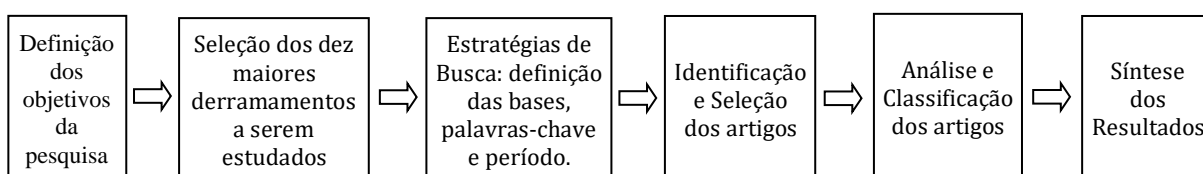
4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada no trabalho é a Revisão Sistemática da Literatura, que tem por objetivo o levantamento sistemático da produção científica de uma área do conhecimento. Dessa forma, é possível analisar o conhecimento adquirido de forma ordenada e padronizar os métodos de pesquisa, permitindo ainda identificar possíveis caminhos para pesquisas futuras (THE CHROCHANE COLLABORATION, 2014).

O diferencial deste método em relação à revisão bibliográfica tradicional é a definição de uma sequência de etapas de forma a permitir sua replicação. Sendo assim, é de extrema importância a padronização das técnicas utilizadas para a pesquisa.

As principais etapas da Revisão Sistemática são identificadas na Figura 3: definição dos objetivos da pesquisa e escolha dos dez maiores acidentes a serem estudados, definição das estratégias de busca (escolha das palavras-chave e limitação do período de busca), identificação e seleção dos artigos nas bases disponíveis e de interesse do autor, análise e classificação dos artigos e, por fim, síntese dos resultados.

Figura 3: Etapas da Revisão Sistemática



Fonte: Adaptado do Centre for Reviews and Dissemination (2009).

Os dez maiores derramamentos de petróleo *offshore* em volume de óleo derramado foram selecionados com base em dois websites: Marine Insight¹ e The Telegraph².

¹ Disponível em: <<https://www.marineinsight.com/environment/11-major-oil-spills-of-the-maritime-world/>> Acessado em: 26 agosto, 2019.

² Disponível em: <<https://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/australiaandthepacific/newzealand/8812598/10-largest-oil-spills-in-history.html>> Acessado em: 20 maio, 2019.

As informações apontadas foram, também, confirmadas em outras fontes de pesquisa, como a revista *Offshore Technology* e o website *Mother Nature Network*.

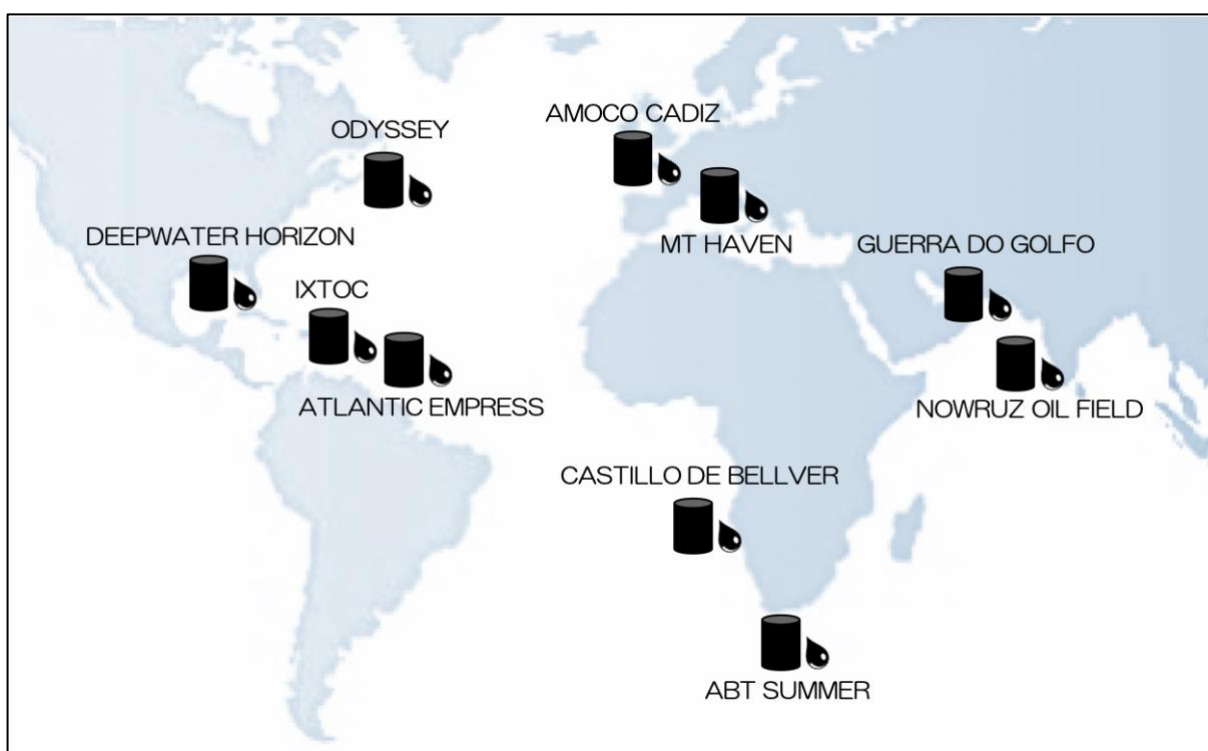
Quanto às estratégias de busca de cada um dos acidentes:

- As bases escolhidas compõem o portal de periódicos mantido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que possui mais de 45 mil publicações de bases de dados como Science Direct, ProQuest, Academic OneFile, Emerald, Sage Journals, Science Electronic Library Online (SciELO), SciFinder e SpringerLink, entre outras;
- Foram selecionados artigos científicos em inglês revisados por pares para garantir maior qualidade dos artigos escolhidos e, conseqüentemente, da revisão sistemática;
- O período de busca não foi utilizado como filtro na base de pesquisa, dado que o mais antigo dos dez maiores derramamentos de petróleo em plataformas *offshore* se deu em 1978; sendo assim, houve o interesse na maior abrangência possível para consultar desde os artigos mais antigos até os mais recentes; a busca se deu até que se esgotassem as novas publicações;
- As palavras-chave foram definidas a partir da literatura e do direcionamento dado à pesquisa, como pela combinação dos termos “*petroleum*” e “*oil spill*” com “*offshore*” e expressões que remetesse ao tema: “*accidents*”, “*accidents causes*”, “*offshore accidents*”, “*at the sea*” e “*industry accidents*”; além disso, utilizou-se os nomes das plataformas combinadas às palavras-chave supracitadas para pesquisar textos referentes à cada um dos dez acidentes estudados neste trabalho.

5 OS DEZ MAIORES DERRAMAMENTOS

Ao longo da história, alguns acidentes de petróleo *offshore* se destacaram pelo volume de óleo derramado. A Figura 4 mostra a localização dos dez maiores derramamentos de petróleo em mar até hoje e que serão estudados nesse trabalho. São eles: Guerra do Golfo, Deepwater Horizon, Ixtoc 1, Atlantic Empress, Nowruz Oil Field, ABT Summer, Castillo de Bellver, Amoco Cadiz, MT Haven e Odyssey.

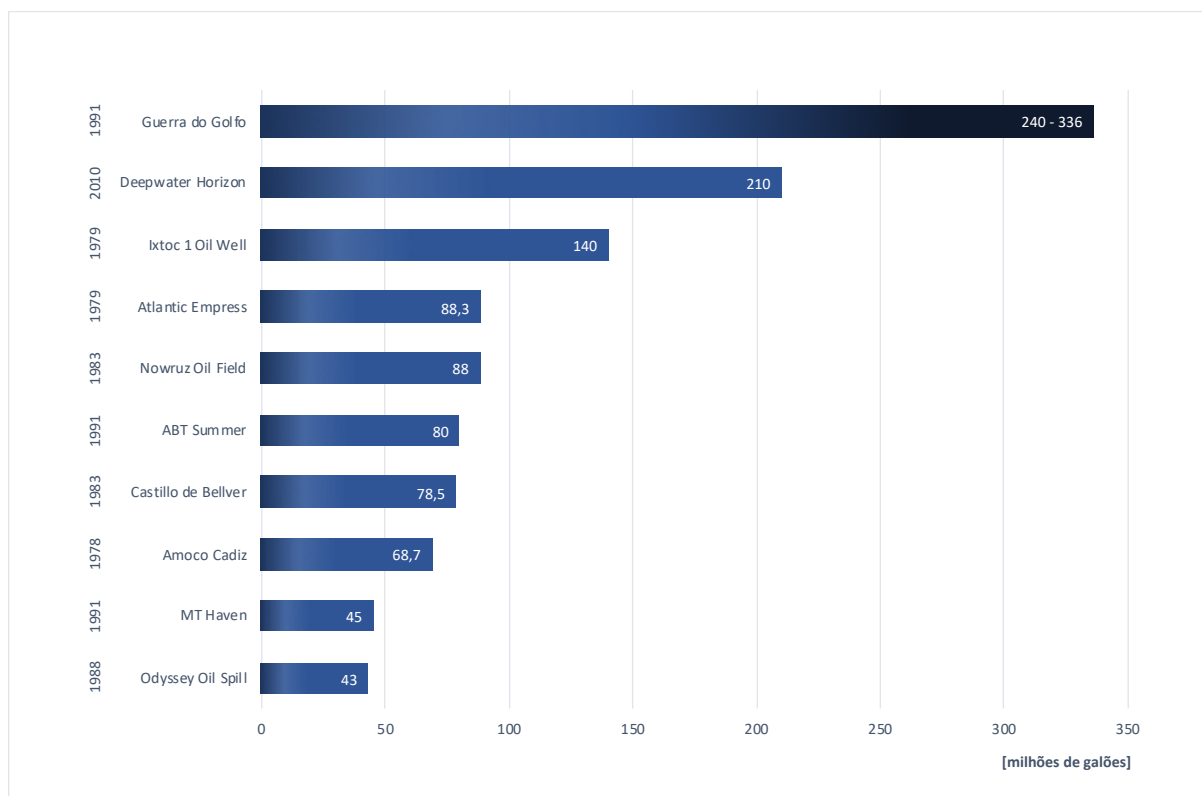
Figura 4: Localização dos dez maiores derramamentos de petróleo *offshore*.



Fonte: Própria (2020).

Os acidentes foram estudados em ordem decrescente de volume de óleo derramado (Figura 5), apresentando informações como: local do incidente, data da ocorrência, contexto, suas causas, consequências e ações mitigadoras, e outros dados que ajudam a compreender cada um deles. As informações foram organizadas e resumidas no Quadro 1, a ser apresentado na sessão 6 de Análise Comparativa dos Derramamentos de Petróleo, após a análise de cada um dos derramamentos.

Figura 5: Os dez maiores acidentes *offshore* em volume de petróleo derramado.



Fonte: Própria (2020).

5.1 GUERRA DO GOLFO

A Guerra do Golfo foi um conflito que se deu em 1990 e 1991 entre o Iraque e o Kuwait, com intervenção dos EUA ao final do período para libertar o Kuwait das tropas iraquianas. Os principais motivos pelo início da guerra foram: o desejo de expansão territorial do governo de Saddam Hussein, cobrança das dívidas que o Kuwait possuía com o governo do Iraque e o interesse no aumento do preço do barril do petróleo, já que o Iraque precisava recuperar sua economia da guerra Irã-Iraque que acabara em 1988 (ENCYCLOPEDIA BRITANNICA, 1999).

O principal produto iraquiano era o petróleo, cujo preço do barril estava acordado em 21 dólares. Como o Kuwait estava produzindo elevadas quantidades de petróleo naquele momento, o barril estava sendo vendido a 11 dólares. Além disso, o governo iraquiano acusava o Kuwait de explorar petróleo proveniente de seu território, o que fez com que aumentasse ainda mais o estímulo para que Saddam Hussein ordenasse a invasão ao território inimigo (BRASIL ESCOLA, 2018).

A possibilidade do controle iraquiano sobre uma grande quantidade de reservas de petróleo no Oriente Médio, e um consequente fortalecimento do país ameaçando a hegemonia da Arábia Saudita (apoiada pelo governo de George Bush), fez com que os EUA acionassem a ONU para autorizar a intervenção no conflito.

Durante a Guerra do Golfo, em 19 de janeiro de 1991, assim que as forças iraquianas se retiraram do Kuwait, foram abertos os oleodutos e as válvulas dos poços (Figura 6) como uma forma de atrasar o avanço das tropas americanas (DEVASTATING DESASTERS, 2019). O conflito ficou marcado por uma grande quantidade de ataques aéreos realizados pelos EUA. Causar o vazamento de petróleo na região foi uma estratégia utilizada não somente para dificultar o avanço das tropas americanas – haja vista a enorme quantidade de fumaça que se formou com as explosões provenientes do óleo – mas também para diminuir o volume produzido e vendido pelo Kuwait. Dessa forma, a quantidade produzida seria menor e, consequentemente, o preço do barril aumentaria, conforme planejado pelo governo iraquiano (BRASIL ESCOLA, 2018).

Figura 6: Derramamento de óleo durante a Guerra do Golfo.



Fonte: Devastating Disasters (2019).

Cerca de 240 milhões de galões de óleo foram descarregados no Golfo Pérsico por uma área equivalente à do Havaí. O derramamento matou centenas de peixes e animais marinhos, porém, de acordo com a Comissão Internacional de Oceanografia

da UNESCO, o vazamento resultou em poucos danos permanentes aos peixes e ecossistemas de corais da região (DEVASTATING DESASTERS, 2019).

As válvulas e os oleodutos foram desenvolvidos para desempenharem suas funções primárias (transporte e distribuição no caso dos oleodutos, regulação, controle e segurança no caso das válvulas), no intuito de garantirem o funcionamento do sistema de maneira segura e eficaz. Após o maior desastre de todos os tempos envolvendo vazamento de petróleo em mar, tornou-se evidente que para qualquer parte do sistema petrolífero *offshore*, os equipamentos e sistemas de controle e produção devem ser pensados para todas as situações, inclusive as mais improváveis, dadas as consequências de um derramamento de óleo para o meio ambiente.

O sistema de segurança de um poço em produção é controlado, basicamente, por uma árvore de natal, equipamento formado por inúmeras válvulas de controle de fluxo, que deve ser instalado na cabeça do poço. O comprometimento desse equipamento está diretamente atrelado ao descontrole do fluxo do poço, como o ocorrido na Guerra do Golfo, em que o maior volume de óleo de toda a história foi derramado em mar.

Um dos agravantes dos efeitos do derramamento para o meio ambiente está associado ao fato de que, por tratar-se de uma guerra, o local ficou inacessível para a tomada de medidas mitigadoras até o cessar fogo, em 28 de fevereiro de 1991. Em entrevista para o Oilfield Technology (2019), Abdul Nabi Al-Ghadban, do Kuwait Institute for Scientific Research, afirma que qualquer operação *offshore* pede um bom plano de contingência em caso de vazamentos, danos, terremoto ou qualquer problema com os oleodutos - “Aprendemos a lição de que temos sempre que ter um plano de ação, temos que esperar o inesperado”.

O Greenpeace publicou os resultados de um estudo realizado juntamente à International Maritime Organisation (IMO) que apontou o fundo que seria necessário levantar para colocar os esforços de mitigação em prática. No entanto, dos 135 membros da IMO, apenas 12 fizeram alguma contribuição financeira para ajudar na limpeza e recuperação ambiental. Segundo o coordenador do Greenpeace, Paul

Horsman, os Estados Unidos não doaram nem equipamentos nem dinheiro, mas a maioria dos países que faziam parte do acordo fizeram algum tipo de contribuição para o fundo (MEED, 1992).

Com o final da guerra, um plano de limpeza foi implementado: uma parte do óleo foi recuperada, uma parte foi levada à terra e outra acabou evaporando. O resultado de 2007 de um monitoramento de longo prazo mostrou que de 22 diferentes localizações no Golfo, apenas seis voltaram ao seu estado anterior, todas as demais ainda tinham graus de poluição, mesmo 16 anos depois do derramamento (OILFIELD TECHNOLOGY, 2019).

5.2 DEEPWATER HORIZON

Em 20 de abril de 2010, no Golfo do México, próximo à costa da Louisiana (EUA), um dos poços de Macondo, da petroleira British Petroleum (BP), iniciou um vazamento por esguicho no fundo do mar que resultou, pouco depois, na explosão da plataforma Deepwater Horizon (Figura 7). É considerado o maior derramamento acidental de petróleo em mar na história da indústria petrolífera. Pode ser também dito como o maior acidente *offshore* envolvendo falha humana, de projeto e estratégia (CORRÊA, 2019).

Figura 7: Explosão da plataforma Deepwater Horizon.



Fonte: Spiegel Online (2014).

O relatório da BP afirma que as decisões foram tomadas em conjunto pelas empresas envolvidas na produção: BP, Transocean e Halliburton, e suas diversas equipes. Concluiu-se, segundo o artigo “BP’s Report On Causes Of Gulf Of Mexico Tragedy Spreads Blame”, do Pipeline & Gas Journal (2010), que as causas do acidente foram:

- O cimento e a sapata (barreira utilizada nas trocas de fases e diâmetros do poço) utilizadas próximas ao solo não cumpriram com sua função e deixaram com que o fluido passasse para dentro do tubo de produção. Investigações revelaram que os engenheiros da BP aceitaram correr riscos adicionais ao permitir a produção em um poço pouco tempo após a colocação do cimento, sem tempo suficiente para a correta fixação do material e devida selagem do poço;
- A BP e a Transocean aceitaram os resultados de testes de pressão negativa, que deveriam ter sido rejeitados até que a integridade do poço estivesse estabelecida;
- A equipe da Transocean deveria ter reconhecido e agido sobre o influxo do poço, que rapidamente chegou à superfície;
- O fluido foi direcionado para um separador de lama e gás, fazendo com que o gás fosse liberado sobre a plataforma ao invés de ser desviado para o mar;
- O fluxo inesperado de gás nas cabines e salas de máquina, para o qual os sistemas de ventilação não estavam preparados, fez com que o ambiente se tornasse extremamente suscetível à explosão;
- Mesmo após a explosão da plataforma, o *blowout preventor (BOP)* em solo marinho deveria ter fechado automaticamente, o que não ocorreu provavelmente por um já comprometimento dos componentes críticos.

Esperava-se que a equipe técnica em operação tomasse algumas ações após o primeiro influxo de lama na plataforma, como desviar o influxo e ativar o *blind shear ram*, um dos sistemas que cortam a passagem de fluxo no poço de imediato. No entanto, nenhuma medida foi tomada. Possivelmente, não se reconheceu a gravidade da situação, apesar da quantidade de lama jorrada em superfície. Outra suposição é a de que não houve tempo hábil para agir, dado que, segundo o relatório da BP, a explosão ocorreu de seis a oito minutos após o primeiro *kick*. Por fim, e mais provável, acredita-se que a falta de treinamento adequado da equipe para responder à situações emergenciais fez com que o acidente tomasse as proporções que tomou (PIPELINE & GAS JOURNAL, 2010).

Além dos aproximados 210 milhões de galões de óleo bruto derramados ao longo de quase três meses na região, 11 homens morreram no acidente e 16 ficaram feridos. Foram reportadas áreas submersas não visíveis da superfície com óleo dissolvido próximo ao poço da explosão. Para proteger centenas de milhares de praias, ilhas e estuários do óleo que se espalhava, foram utilizados navios de separação, barragens flutuantes de contenção, barreiras ancoradas, barricadas de areia e dispersantes (THE TELEGRAPH, 2011).

A indústria da pesca e turismo local e a vida marinha foram severamente danificados. De acordo com o Centre for Biological Diversity, o derramamento causou a morte de 82 mil pássaros, 25,9 mil animais marinhos, 6 mil tartarugas marinhas e dezenas de milhares de peixes, entre outros (KAUSHIK, 2019).

Após o acidente, o governo norte americano implementou diversas mudanças práticas na indústria do petróleo para evitar reincidências. No entanto, desde a posse de Donald Trump, em 2017, medidas vem sendo tomadas no sentido do enfraquecimento das regulamentações de segurança e flexibilização das regras para fornecerem mais autonomia às empresas na regulação de suas operações de exploração *offshore*. Na nova regra, os equipamentos não precisam mais ser projetados para os cenários mais extremos de clima e medidas de segurança não precisam mais ser submetidas à verificação independente, mostrando um afrouxamento para incentivar a produção doméstica de energia (CORRÊA, 2019).

5.3 IXTOC 1

Em 3 de junho de 1979, o poço Ixtoc 1 da Petroleos Mexicanos (PEMEX), companhia estatal mexicana localizada na Baía de Campeche, atingiu a profundidade de perfuração de 3.624 metros abaixo do solo marinho, onde encontrava-se uma camada fraturada de rocha. As diferentes condições da formação em relação às encontradas anteriormente geraram um aumento repentino de pressão (*blowout*) e fez com que o poço explodisse (THE TELEGRAPH, 2011).

Mais de 140 milhões de galões de óleo bruto foram derramados por uma área aproximada de 1.100 milhas quadradas, pouco maior que o território de Luxemburgo (Figura 8). Para diminuir a velocidade do fluxo de óleo, foram jogadas na abertura do poço danificado mais de cem mil bolas de lama, aço, ferro e chumbo, com dimensões similares às de bolas de tênis. Esta técnica foi suficiente para cortar o fluxo pela metade, mas manteve a vazão do óleo ainda muito elevada. (WALDICHUK, 1980).

Figura 8: Derramamento de Ixtoc 1.



Fonte: TapRoot (2018).

O derramamento foi de fato estancado após dois poços de alívio serem perfurados nas proximidades. Os poços Ixtoc 1A e Ixtoc 1B começaram a bombear fluido para dentro do poço aberto apenas em dezembro de 1979. A obstrução total do poço em descontrole se deu apenas em 23 de março do ano seguinte, sendo necessários para o fechamento total do poço 3 mil sacos de cimento, que foram colocados no Ixtoc 1 através dos dois poços de alívio (HUSSEINI, 2018).

Jorge Diaz Serrano, diretor geral da PEMEX, reportou que o México desembolsou, na época, 132 milhões de dólares para fechar o poço e conter os danos ambientais, além da perda de 87 milhões de dólares em receita com a venda do óleo vazado. (WALDICHUK, 1980).

De acordo com Arancibia *et al.* (2014), as autoridades mexicanas foram pressionadas internacionalmente a capear o poço com a melhor tecnologia disponível para que futuros danos ecológicos pudessem ser evitados. Além dos poços de alívio, foram utilizados separadores e dispersantes no intuito de diminuir o volume de óleo espalhado em mar, porém a falta de conhecimento de todo o ecossistema marinho da região dificultou bastante a limpeza do derramamento de óleo como forma de mitigação.

Afirmam, também, que a diversidade biológica em ecossistemas tropicais pode impedir que a destruição do ambiente marinho a longo prazo seja realmente medida, haja vista a falta de informação de antes do derramamento e a rápida recuperação do ecossistema tropical quando comparados a outros ecossistemas, como o temperado, por exemplo (ARANCIBIA, 2014).

5.4 ATLANTIC EMPRESS

Os dois supertanques Atlantic Empress e Aegean Captain, totalmente carregados de petróleo, colidiram na costa de Trindade e Tobago, no Mar do Caribe, devido a uma tempestade durante a noite de 19 de julho de 1979. Relatórios disseram que o Empress estava mais de 100 graus fora da rota e que ambos estavam com a visão prejudicada, além de não terem conseguido reduzir a velocidade na tentativa de evitar a batida. O Captain tentou desviar ao ver a outra embarcação, mas já era tarde, estava a pouco mais de 500 metros de distância e tinha alguns segundos para conseguir mudar a direção e desviar do Empress, em meio à tempestade (GILLIS, 2011).

A colisão gerou o maior derramamento da história envolvendo navios, colocando fogo nas embarcações a menos de 20 milhas náuticas da costa (equivalente a aproximadamente 37 quilômetros). O fogo do Aegean Captain foi controlado rapidamente, e então o navio foi transportado para Curaçao, onde o óleo remanescente foi descarregado (KAUSHIK, 2019).

Já para o Atlantic Empress (Figura 9), foi necessária a interferência de cinco especialistas na tentativa de controlar o fogo e o derramamento de óleo. Em 21 de julho, foi rebocado para mais longe da costa, a 300 milhas náuticas (555 quilômetros), onde continuou queimando até que uma explosão ocorreu e aumentou o fluxo do vazamento. No dia seguinte, outra grande explosão ocorreu, dobrando a vazão inicial do derramamento, até que o navio afundou em 3 de agosto de 1979 (HUSSEINI, 2018).

Figura 9: Derramamento do supertanque Atlantic Empress.



Fonte: TakePart (2013).

A explosão dos tanques matou 27 pessoas da tripulação, sendo apenas uma delas do Captain e as demais do Empress, e derramou mais de 88 milhões de galões de petróleo em mar. O Captain foi rebocado quase sem perda de óleo, portanto quase a totalidade do derramamento foi proveniente do Empress, dado que suas chamas impediram métodos de limpeza imediatos (KAUSHIK, 2019).

Apesar do alto volume de óleo vazado, relatórios indicaram que a maior parte do óleo foi dissolvido no mar e apenas uma pequena poluição foi reportada nas ilhas próximas ao local. Wes Tunnell, diretor da Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, diz que não foi conduzido um estudo mais detalhado e aprofundado dos efeitos para o meio ambiente por falta de recursos, já que o lugar não é popular e não houve apelo por parte da população regional (GILLIS, 2011).

De acordo com o comissário de Trinidad e Tobago, Victor Cockburn (apud HUSSEINI, 2018) dois navios gigantes como os do acidente precisam de uma distância de segurança de pelo menos 6 milhas – 9,65 km – entre eles. O avanço na tecnologia de navegação para as embarcações ajudou a diminuir o número de acidentes de grande escala, apesar de ainda acontecerem. Muitos navios, atualmente, estão equipados com radares e sistemas de navegação de última geração, incluindo GPS, sistema de identificação automática e comunicação de rádio (HUSSEINI, 2018).

5.5 NOWRUZ OIL FIELD

Durante a guerra entre Irã e Iraque, em fevereiro de 1983, um navio-tanque de óleo colidiu com a Plataforma do Campo de Nowruz, no Golfo Pérsico, fazendo com que a plataforma inclinasse em 45 graus e se tornasse insustentável. O derramamento se iniciou pela quebra da conexão do *riser* com a cabeça do poço, que foi intensificada devido à ação das ondas e da corrosão (INCIDENT NEWS, 1983).

Figura 10: Plataforma após colisão e derramamento de petróleo em Nowruz.



Fonte: Weebly (2014).

Aproximadamente 63 mil galões de óleo de grau API 22 (qualidade mediana) foram derramados por dia (Figura 10). No entanto, por tratar-se de uma zona de guerra,

não foi possível intervir na abertura do poço para cessar o derramamento. Em março, a plataforma foi atacada por helicópteros iraquianos e pegou fogo. O poço apenas pode ser capeado após sete meses do acidente, em 18 de setembro de 1983, pelos iranianos, operação que causou a morte de 11 pessoas (INCIDENT NEWS, 1983).

Uma empresa norueguesa, Norpol, usou barreiras e escumadeiras como formas de mitigação para o derramamento. No total, ao longo dos meses, mais de 88 milhões de galões de óleo foram ao mar, destruindo milhares de vidas marinhas (CASSELMAN, 2010).

Pássaros, cobras marinhas, tartarugas e peixes apareceram mortos ao longo da costa da Arábia Saudita após os acidentes envolvendo as plataformas de petróleo atacadas durante a guerra Irã-Iraque. A maior parte dos animais mortos ou quase mortos analisados não apresentaram marcas de contato direto com o petróleo. Estudos apontaram altas concentrações de níquel e vanádio nesses animais, substâncias que foram derramadas ao mar às toneladas junto ao petróleo e podem se acumular na biota marinha, levando-os à morte ou contaminando toda a cadeia alimentar subsequente, incluindo a população humana (SADIQ, 1984).

Em março do mesmo ano, uma plataforma próxima também foi atacada por helicópteros iraquianos, pegando fogo e deixando óleo ir ao mar. O poço foi conectado com a ajuda de mergulhadores apenas dois anos depois, totalizando mais de 30 milhões de galões de óleo derramados em mar. Durante essa operação, 9 homens morreram (INCIDENT NEWS, 1983).

De acordo com a publicação da Incident News (1983), foi desenvolvido um programa cooperativo de modelamento de trajetória de larga escala entre o National Oceanic and Atmospheric Administration e o Kuwait's Environment Protection Council, do Ministério da Saúde Pública, como forma de resposta à sequência de derramamentos recém ocorridos no período em questão.

5.6 ABT SUMMER

O navio-tanque liberiano ABT Summer, carregado em sua máxima capacidade com óleo bruto iraquiano, sofreu uma explosão e pegou fogo na sua rota para Rotterdam, em 28 de maio de 1991 (Figura 11). A 900 milhas distante da costa da Angola (quase 1.500 km), todo o óleo que transportava foi despejado no oceano, se espalhando por 80 milhas quadradas (mais de 200 km quadrados) e fazendo com que queimasse por três dias antes de afundar em 31 de maio de 1991 (KAUSHIK, 2019).

Figura 11: Explosão da embarcação ABT Summer que transportava óleo cru.



Fonte: Marine Insight (2019).

A causa raiz do acidente não pôde ser identificada, mas o mais provável é que o fogo inicial foi gerado devido a uma corrosão no tanque-lastro. Apesar da rapidez no resgate da tripulação, no momento da operação já havia uma pessoa declarada morta e outras quatro desaparecidas, que foram posteriormente declaradas como mortas (HUSSEINI, 2018).

Segundo Kaushik (2019), diferentemente de outros acidentes envolvendo derramamento de óleo em mar, o de ABT Summer teve menor impacto ambiental do que o esperado. Acredita-se que uma parte do óleo tenha sido consumida pelas chamas, outra tenha sido dispersada em alto mar e que a camada de revestimento

de petróleo tenha vaporizado naturalmente. A localização do acidente evitou que o petróleo se espalhasse até atingir as cidades costeiras, sendo outro fator determinante para que houvesse pequeno dano ao meio ambiente. Dessa forma, não foram tomadas ações mitigatórias significativas.

Demoraram a ser tomadas ações efetivas após o acidente. Foi estabelecido que o padrão de segurança seria tanque de casco duplo, fazendo com que o custo de investimento nos tanques aumentasse. Apenas em 2008 formou-se o Performance Standard for Ballast Tank Coatings (PSPC), para determinar especificações de revestimento de embarcações durante sua construção e exigir renovações periódicas. Também foi realizada a Convenção de Gestão de Água de Lastros, em 2017, para que pudesse ser estudado um novo sistema de tratamento de água que evitasse a presença de espécies invasivas em tanques-lastro e mitigasse a corrosão sem danificar o tanque (HUSSEINI, 2018).

5.7 CASTILLO DE BELLVER

O petroleiro espanhol Castillo de Bellver pegou fogo 70 milhas – 112 km – a noroeste da Cidade do Cabo, na África do Sul, em 6 de agosto de 1983. As causas iniciais do fogo são desconhecidas, mas a suposição mais aceita é de que uma faísca na sala de bombas fez com que o fogo se espalhasse pelos tanques e gerasse a explosão (LANGEWIESCHE, 2014).

A embarcação em chamas foi abandonada pela tripulação (Figura 12) e permaneceu à deriva até que, sete horas depois, se partiu ao meio (THE NEW YORK TIMES, 1983). Foram resgatadas 33 pessoas, porém o engenheiro chefe e dois outros membros da equipe foram mortos na explosão (LANGEWIESCHE, 2014).

Figura 12: Derramamento de petróleo de Castillo de Bellver.



Fonte: Energy Global News (2018).

Na manhã seguinte ao acidente, a popa virou e afundou em 420 metros, a 24 milhas (38 km) da Baía de Saldanha. A proa foi rebocada a 136 milhas da costa (219 km) e em 13 de agosto afundou, atingindo a profundidade de 3 mil metros (THE NEW YORK TIMES, 1983). O navio-tanque carregava 79 milhões de galões de petróleo leve bruto arábico no momento do acidente. Apesar do óleo transportado ter alta toxicidade, dada sua viscosidade e qualidade, por ser um óleo leve, possui maior volatilidade. Estima-se que em torno de 10% do óleo foi queimado no fogo inicial e que aproximadamente 40% evaporou (MOLDAN *et al.*, 1985).

O acidente se deu próximo a uma área de alta sensibilidade ecológica, de fauna e flora muito ricas, além de ser ponto de parada para aves migratórias. Como forma de mitigação do derramamento ocorrido, foram utilizados em torno de 230 mil litros de dispersantes à base de solvente e 4 mil litros de concentrado. Foram feitas algumas previsões meteorológicas para que pudessem ser tomadas medidas preventivas, caso o óleo derramado fosse levado pelos ventos para locais mais próximos à costa. Felizmente, as condições dos ventos marinhos e das correntezas fizeram com que a mancha se locomovesse para mar aberto (MOLDAN *et al.*, 1985).

Aproximadamente 1.500 gansos-patola encontrados em uma ilha próxima, preparando-se para o período de reprodução, estavam cobertos por óleo. Contudo, a quantidade de óleo era relativamente pequena e 65% deles foram liberados ao

ambiente depois de serem limpos e passarem por uma reabilitação na South African National Foundation for the Conservation of Coastal Birds (SANCCOB) (MOLDAN *et al.*, 1985).

Na costa ocorreu, durante as primeiras 24 horas, o efeito chamado ‘chuva negra’, a precipitação das partículas voláteis de óleo junto à água da chuva. Algumas plantações de trigo e pastos de ovelhas foram atingidos, mas o impacto nas espécies de peixe da região foram mínimas (LANGEWIESCHE, 2014). Não foram relatados impactos a longo prazo nem nos ecossistemas marinhos e nem costeiros.

5.8 AMOCO CADIZ

Na manhã de 16 de março de 1978, o navio-tanque gigante Amoco Cadiz, da American Oil Company, sofreu uma falha no mecanismo de direção, se partiu ao meio e afundou (Figura 13). O acidente derramou 69 milhões de galões de óleo arábico e iraniano da Shell no Canal da Mancha a poucos quilômetros de Portsall, na França. (GUNDLACH *et al.*, 1983).

Figura 13: Derramamento de petróleo de Amodo Cadiz.



Fonte: Marine Insight (2019).

O navio-tanque estava na rota do Golfo Pérsico para Rotterdam (Países Baixos), quando foi atingido por uma forte tempestade de inverno, com ondas altas e vendavais. Uma grande onda atingiu a embarcação, danificando o leme e impedindo, portanto, que respondesse aos comandos da direção. Após algumas tentativas falhas de consertar o dano, a tripulação emitiu um alerta de socorro informando que não conseguiam manobrar. Apesar de várias embarcações responderem ao chamado (incluindo o alemão rebocador The Pacific), nenhuma conseguiu impedir o acidente, devido à grande massa do Amoco e à força dos ventos (THE MAIN EVENT, 2015).

O navio-tanque encalhou às 21h, inundando o motor, enquanto uma segunda onda rachou seu casco e fez com que sua carga começasse a ser derramada em mar aberto na costa da Bretanha. Menos de uma hora depois, a embarcação se partiu em dois, liberando todo o óleo que transportava. Os fortes ventos e correntezas fizeram com que os esforços feitos para limpeza fossem em vão. O derramamento se espalhou rapidamente, cobrindo uma área de 1.440 milhas quadradas, equivalente a aproximadamente 3.730 quilômetros quadrados (THE MAIN EVENT, 2015).

Não havia preparação suficiente por parte da França para lidar com a mitigação do maior acidente de petróleo *offshore* do mundo até aquele momento. Sendo assim, levou algum tempo até que se iniciassem ações de limpeza, dificultadas pelas condições ambientais. Foram utilizados agentes precipitantes para evitar que a mancha de óleo fosse arrastada para as Ilhas do Canal, mas as praias francesas foram atingidas, alcançando areias profundas (THE MAIN EVENT, 2015).

Mais de 14 mil voluntários e membros das forças armadas do mundo todo ajudaram na limpeza das praias, rochas e riachos mais atingidos pelo óleo. A limpeza das 76 praias atingidas se deu em uma primeira etapa de bombeamento do petróleo ainda líquido e em uma segunda etapa de remoção de resíduos (THE MAIN EVENT, 2015).

Até então nenhum outro acidente havia matado tanta vida marinha e costeira. Na costa, populações da fauna e flora estavam sendo fortemente atingidas. A economia

local também sofreu os efeitos do acidente, dado que a região dependia da atividade pesqueira. Em 1976, produzia o equivalente a 40% da produção total da França (GUNDLACH *et al.*, 1983).

O Amoco Cadiz afundou vagarosamente, mas a embarcação teve de ser completamente destruída usando carregamentos explosivos da marinha francesa. O governo francês foi restituído em 120 milhões de dólares pela American Oil Company, pagamento que foi finalizado em 1990. Foram adotadas medidas para reduzir o risco de acidentes e assegurar melhores métodos de resgate e resposta aos acidentes, apesar de não terem sido detalhados (THE MAIN EVENT, 2015).

5.9 MT HAVEN

O navio MT Haven, de nome formal Amoco Milford Haven – denominado “irmão” do anteriormente acidentado Amoco Cadiz devido a algumas similaridades entre os desastres – explodiu a 11 km da costa de Genova, na Itália, em 14 de abril de 1991 (Figura 14). O navio carregava aproximadamente 144 mil toneladas de óleo pesado iraniano (JONES, 1991).

Figura 14: Derramamento de petróleo envolvendo acidente do navio-tanque MT Haven.



Fonte: TakePart (2013).

O navio-tanque havia retornado do Golfo Pérsico e já havia carregado 80 mil toneladas de óleo de uma plataforma flutuante. Para realizar um procedimento de rotina de limpeza, transferindo óleo de porões laterais para um central, o navio desconectou da plataforma. Inesperadamente, algo deu errado e uma vasta explosão ocorreu no tanque de número dois localizado na proa (SAFETY4SEA, 2019).

As autoridades italianas foram acionadas, mas a distância da embarcação em relação à costa dificultou as ações dos bombeiros. Ao mesmo tempo, barreiras eram colocadas ao redor do Haven para conter a poluição do óleo. Também foram utilizadas escumadeiras para mitigar o derramamento. A embarcação se partiu em três e a parte principal foi rebocada e explodiu algumas vezes antes de afundar (SANDULLI *et al.*, 1992). Seis membros morreram instantaneamente devido às explosões, incluindo o capitão, e onze tripulantes ficaram seriamente feridos.

Os donos do navio foram culpados por colocarem a embarcação de volta em operação precipitadamente, já que havia sido atingido por um míssil anteriormente na guerra do Irã-Iraque, em 1987, sem a devida manutenção posteriormente. O acidente levantou problemas relacionados à manutenção de navios, assim como riscos associados ao transporte de petróleo e substâncias perigosas em águas italianas, principalmente por ter ocorrido um dia depois do acidente de Moby Prince, também na Itália, que deixou 140 mortos e derramou 2 toneladas de petróleo no mar. (SAFETY4SEA, 2019).

Aproximadamente 50 milhões de galões foram ao mar (maior derramamento de petróleo no Mediterrâneo) resultando numa forte contaminação da costa italiana. Medidas mitigatórias recolheram aproximadamente 1,5 milhões de galões de óleo. Inicialmente, a limpeza foi feita manualmente por voluntários e militares. Houve uma redução de 43% na população de peixes, além de cem pássaros terem sido encontrados recobertos por óleo (SAFETY4SEA, 2019).

As ações de limpeza na costa italiana e francesa perduraram por 12 anos, até que foram encerradas em 2008. Várias atividades de monitoramento foram realizadas ao longo dos anos: de parâmetros físico-químicos da água, das rochas costeiras, areia

e solo marinho, da biota marinha (plâncton, bentos e fauna demersal), dos mexilhões, do ar e da socioeconomia local (SANDULLI et al., 1992).

5.10 ODYSSEY

O petroleiro liberiano Odyssey, da Pelombros Shipping, em 5 de novembro de 1988, praticamente lotado com óleo bruto do Mar do Norte, partiu-se em dois e afundou no Atlântico Norte (Figura 15). Quando o navio estava a mil milhas náuticas (pouco menos de 2 mil km) da costa de Terra Nova e Labrador, no Canadá, uma enorme tempestade se aproximou, atingindo a embarcação com ventos de 70 km/h e ondas de mais de 7 metros de altura (LEDERER, 1988).

Figura 15: Derramamento do petroleiro Odyssey.



Fonte: Popular Mechanics (2010).

A embarcação emitiu um alerta e seguiu em direção à costa, porém quando estava a 700 milhas da costa (1.300 km) da Nova Escócia (Canadá), houve uma explosão de causa desconhecida que partiu o navio em dois, colocando-o a afundar. O fogo se espalhou e atingiu os tanques, fazendo com que o óleo espalhado ao mar também se pusesse em chamas (THE NEW YORK TIMES, 1988).

Devido às péssimas condições da tempestade, a Guarda Costeira Canadense não conseguiu responder ao chamado rapidamente. O navio russo *Passat* respondeu ao alerta e chegou ao local do acidente em menos de uma hora, porém a mancha de óleo em chamas em torno do *Odyssey* não permitia ações de socorro. Os 27 membros a bordo do *Odyssey* morreram no incidente, sendo 15 deles gregos e 12 hondurenhos (LEDERER, 1988).

Foram derramados mais de 43 milhões de galões de óleo bruto no oceano, se espalhando por 76,8 quilômetros quadrados, mas quase não foi sentido na costa, devido a dois fatores importantes: boa parte do óleo foi queimado antes da guarda costeira chegar ao local e controlar o fogo, e as correntes marinhas carregaram o óleo através do Atlântico em direção à Inglaterra (THE NEW YORK TIMES, 1988). A equipe de ambientalistas especializados da marinha apontaram que a melhor forma de remover o óleo derramado seria deixar que se dissipasse na água do mar. Para o óleo remanescente, foram utilizados dispersantes na forma de pulverizador para quebrar a molécula e facilitar a diluição (AUTENCIO, 2014).

6 ANÁLISE COMPARATIVA DOS DERRAMAMENTOS DE PETRÓLEO

O conteúdo apresentado ao longo do trabalho foi organizado e resumido no Quadro 1. Estão descritas as principais informações de cada acidente: contexto histórico, causas e consequências, ações de mitigação e prevenção, e informações técnicas dos derramamentos. Essas informações são suporte fundamental para as comparações e discussões do estudo.

Quadro 1: Causas, consequências, medidas mitigadoras e ações preventivas dos dez maiores derramamentos de petróleo *offshore*.

#	Acidente	Causas	Consequências	Mitigação	Prevenção
1	Guerra do Golfo, 1991 Kuwait 240 a 336 milhões de galões	Durante a Guerra do Golfo de 1991, assim que as forças iraquianas se retiraram do Kuwait, foram abertos os oleodutos e as válvulas dos poços como uma forma de atrasarem o avanço das tropas americanas.	Danos de longo prazo aos ecossistemas da região, apenas algumas localizações foram recuperadas por completo.	Uma parte do óleo foi recuperada, uma parte foi levada à terra e outra acabou evaporando.	Qualquer operação offshore pede um bom plano de contingência em caso de vazamento, danos, terremoto ou qualquer problema com os oleodutos.
2	Deepwater Horizon, 2010 Golfo do México 210 milhões de galões	Uma sequência de falhas mecânicas complexas e interligadas, e decisões envolvendo diferentes empresas e equipes, levaram à explosão. Dentre elas, houve má cimentação e falha na junta flutuante que serve de barreira no fundo do poço, deixando o fluxo adentrar no revestimento de produção.	11 pessoas mortas e um severo impacto nas comunidades e meio ambiente ao longo da região da Costa do Golfo.	Para proteger centenas de milhares de praias, ilhas e estuários do óleo que se espalhava, foram utilizados navios de separação, barragens flutuantes de contenção, barreiras ancoradas, barricadas de areia e dispersantes.	Mudanças práticas nas regulamentações da indústria do petróleo para aumentar a segurança nas plataformas. Além disso, espera-se que com exemplos de fracasso, haja maior responsabilidade por parte das equipes líderes das operações de exploração.
3	Ixtoc 1 Oil Well, 1979 Baía de Campeche, México 140 milhões de galões	Um aumento repentino de pressão (<i>blowout</i>) fez com que um poço explodisse acidentalmente.	Mais de 140 milhões de galões de óleo bruto foram derramados no Golfo do México, em uma área aproximada de 1100 milhas quadradas. A diversidade biológica da região impediu que fosse medido o impacto nos ecossistemas.	Inicialmente, bolas de lama, aço, ferro e chumbo foram jogadas na abertura do poço danificado. Porém, o vazamento de óleo foi estancado quando dois poços de alívio foram perfurados. Também foram utilizados separadores e dispersantes devido ao óleo espalhado no mar.	Conhecer o ambiente marinho local é crucial para uma boa aplicação de limpeza do local afetado pelo derramamento de óleo.
4	Atlantic Empress, 1979 Trindade e Tobago 88,3 milhões de galões	O vazamento foi causado pela colisão entre os dois petroleiros Atlantic Empress e Aegean Captain. O Empress estava mais de 100 graus fora da rota e ambos estavam com a visão prejudicada, além de não terem conseguido reduzir a velocidade antes da colisão.	Por sorte, apenas uma pequena poluição foi reportada nas ilhas próximas ao local, porém a explosão dos tanques matou 26 pessoas da tripulação.	Não há registros na literatura.	Distância de segurança de pelo menos 6 milhas entre navios de grande porte e equipar todos eles com radares e sistemas de navegação de última geração, incluindo GPS, sistema de identificação automática e comunicação de rádio.
5	Nowruz Oil Field, 1983 Golfo Pérsico 88 milhões de galões	Durante a guerra entre Irã e Iraque, um navio-tanque de óleo colidiu com a Plataforma do Campo de Nowruz, no Golfo Pérsico, danificando o poço e causando o vazamento de óleo.	Aproximadamente 63 mil galões foram derramados por dia, no entanto, por tratar-se de uma zona de guerra, o poço apenas pode ser consertado após sete meses do acidente. O acidente causou a morte de 11 pessoas, além de vários efeitos desfavoráveis à vida marinha.	Foram utilizadas barreiras e escumadeiras como formas de mitigação	Foi desenvolvido um programa cooperativo de modelamento de trajetória de larga escala como forma de resposta aos vazamentos.

#	Acidente	Causas	Consequências	Mitigação	Prevenção
6	ABT Summer, 1991 Costa da Angola 80 milhões de galões	A causa raiz do acidente não pôde ser identificada, mas o mais provável é que o fogo inicial foi gerado devido a uma corrosão no tanque-lastro.	O navio-tanque queimou por três dias e matou 5 dos 32 tripulantes à bordo. Acredita-se que o óleo tenha se dispersado em alto mar e, devido à localização do acidente, gerando pequenos danos ao meio ambiente.	Graças à localização do acidente, não foram tomadas ações mitigatórias.	Tanques de casco duplo como padrão de segurança, novas especificações de revestimento e manutenção das embarcações, e discussão de novo sistema de tratamento da água para evitar a presença de espécies invasivas e mitigar a corrosão.
7	Castillo de Bellver, 1983 Nordeste da Cidade do Cabo, África do Sul 78,5 milhões de galões	As causas iniciais do fogo são desconhecidas, mas a suposição mais aceita é de que uma fálscia na sala de bombas fez com que o fogo se espalhasse pelos tanques e gerasse a explosão.	Aproximadamente 1500 gansos-patola encontrados em uma ilha próxima preparando-se para o período de reprodução estavam cobertos por óleo. O impacto nas espécies de peixe da região foram mínimas. 3 membros da tripulação morreram.	Foram utilizados em torno de 230 mil litros de dispersantes à base de solvente e 4 mil litros de concentrado. Previsões meteorológicas auxiliaram a agilizar as ações mitigadoras. Gansos-patola passaram por reabilitação.	Não há registros na literatura.
8	Amoco Cadiz, 1978 Canal da Mancha, França 68,7 milhões de galões	O navio-tanque encalhou na costa da Bretanha depois de sua direção falhar em uma severa tempestade. O navio tentou pedir ajuda, mas apesar de várias embarcações responderem, nenhuma conseguiu impedir o incidente.	Toda sua carga de 246 mil toneladas de óleo cru leve foi derramado nas águas do Canal da Mancha, com consequências nunca antes vistas à vida marinha, 76 praias sofreram efeitos do derramamento.	Foram utilizados agentes precipitantes para evitar que a mancha de óleo fosse arrastada para as Ilhas do Canal, mas as praias francesas foram atingidas, alcançando areias profundas. As forças armadas e voluntários ajudaram na limpeza das praias.	Foram adotadas medidas para reduzir o risco de acidentes e assegurar melhores métodos de resgate e resposta aos acidentes.
9	MT Haven, 1991 Genova, Itália 45 milhões de galões	Em um procedimento de rotina para transferência interna de óleo de porões laterais para um central, o navio desconectou da plataforma e uma explosão ocorreu no tanque da proa. O navio já havia sido atingido por um míssil anteriormente e não teve a manutenção devida.	A embarcação se partiu em três. A parte principal explodiu mais algumas vezes e afundou. Seis membros morreram instantaneamente. 45 milhões de galões de óleo foram derramados no Mediterrâneo, contaminando a costa italiana.	Após algum controle do fogo, foram colocadas barreiras de contenção em mar. Como resultados dos esforços, foram coletados aproximadamente 5.500 metros cúbicos de óleo. As operações de limpeza acabaram em 2008.	O acidente levantou problemas relacionados à falta de manutenção dos navios, assim como riscos associados com o transporte de petróleo e substâncias perigosas em águas italianas.
10	Odyssey Oil Spill, 1988 Costa de Nova Escócia, Canadá 43 milhões de galões	Em meio à uma tempestade, houve uma explosão de causa desconhecida que partiu o navio em dois, colocando-o a afundar. O fogo se espalhou e atingiu os tanques, fazendo com que o óleo espalhado ao mar também se pusesse em chamas.	O vazamento se espalhou por 76,8 quilômetros quadrados, mas quase não foi sentido na costa. 27 membros à bordo do Odyssey morreram no incidente.	A melhor forma de remover o óleo derramado seria deixar que se dissipasse na água do mar. Para o óleo remanescente, seriam utilizados dispersantes na forma de pulverizador para quebrar a molécula e facilitar a diluição.	Não há registros na literatura.

As informações foram então organizadas para a análise comparativa com o objetivo de identificar similaridades e diferenças entre os derramamentos (Quadro 2). As informações são apresentadas de forma mais concisa com o objetivo de facilitar a comparação entre os derramamentos.

Quadro 2: Comparação dos dez maiores derramamentos de petróleo offshore da história.

#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Acidente	Guerra do Golfo 1991 Kuwait 240 a 336 milhões de galões	Deepwater Horizon 2010 Golfo do México 210 milhões de galões	Ixtoc 1 Oil Well 1979 Baía de Campeche 140 milhões de galões	Atlantic Empress 1979 Trindade e Tobago 88,3 milhões de galões	Nowruz Oil Field 1983 Golfo Pérsico 88 milhões de galões	ABT Summer 1991 Costa da Angola 80 milhões de galões	Castillo de Bellver 1983 África do Sul 78,5 milhões de galões	Amoco Cadiz 1978 França 68,7 milhões de galões	MT Haven 1991 Itália 45 milhões de galões	Odyssey Oil Spill 1988 Canadá 43 milhões de galões
Causas	Falha humana proposital (guerra).	Falhas humanas e mecânicas em sequência.	Falha humana no estudo geológico.	Falha humana em consequência de condições climáticas extremas.	Falha humana em cenário e território de guerra.	Falta de manutenção e cuidados de segurança no navio.	Faixa de origem desconhecida na sala de bombas.	Falha mecânica em consequência de condições climáticas extremas.	Falta de reparo e manutenção adequados.	Faixa de origem desconhecida em consequência de condições climáticas extremas.
Consequências	Danos de longo prazo aos ecossistemas da região.	11 pessoas mortas e um severo impacto nas comunidades e meio ambiente da região.	A diversidade biológica da região impediu que fosse medido o impacto nos ecossistemas.	26 pessoas mortas e pequena poluição reportada nas proximidades.	11 pessoas mortas e danos à vida marinha.	5 pessoas mortas e pequenos danos ao meio ambiente.	3 pessoas mortas e leve impacto às espécies de peixe e gansos-patola da região.	Consequências severas à vida marinha e 76 praias atingidas.	6 pessoas mortas e intensa contaminação da costa italiana.	27 pessoas mortas e efeitos leves na costa.
Mitigação	Uma parte do óleo foi recuperada, uma parte foi levada à terra e outra acabou evaporando.	Navios de separação, barragens flutuantes de contenção, barragens ancoradas, barricadas de areia e dispersantes.	Bolas de lama, aço, ferro e chumbo com posterior abertura de dois poços de alívio e uso de separadores e dispersantes.	Não há registros na literatura.	Barreiras e escumadeiras.	Gracas à localização do acidente, não foram tomadas ações mitigadoras.	Dispersantes, previsões meteorológicas e reabilitação para espécies de pássaros atingidos.	Agentes precipitantes e limpeza das praias pelas forças armadas e voluntários.	Barreiras de contenção e operações de limpeza por mais de uma década.	Dispersantes na forma de pulverizador para facilitar a diluição.
Prevenção	Plano de contingência em qualquer e toda ocasião, incluindo ações humanas propositais.	Mudanças nas regulamentações e responsabilidade socioambiental.	Assegurar melhores métodos de resgate e resposta aos acidentes.	Mudanças nas regulamentações e responsabilidade socioambiental.	Mudanças nas regulamentações e responsabilidade socioambiental.	Mudanças nas regulamentações e responsabilidade socioambiental.	Não há registros na literatura.	Assegurar melhores métodos de resgate e resposta aos acidentes.	Mudanças nas regulamentações e responsabilidade socioambiental.	Não há registros na literatura.

Analisando os dez derramamentos quanto às causas, foram observadas que as principais delas são: ações humanas (incluindo guerras), condições climáticas extremas e falha na manutenção das embarcações. Derramamentos decorrentes de ações humanas foram identificados em metade dos acidentes: Guerra do Golfo, Deepwater Horizon, Ixtoc 1, Atlantic Empress e Nowruz Oil Field, ou seja, nos cinco maiores acidentes dentre os estudados.

Apesar dos cinco acidentes terem causas classificadas como ações humanas, há diferenças consideráveis entre elas. Nenhum outro derramamento estudado neste trabalho teve sua causa tão associada às ações propositais como o da Guerra do Golfo. O acidente de Deepwater Horizon também decorreu de ações humanas irresponsáveis, já que as equipes decidiram por seguir com alguns procedimentos mesmo sabendo dos riscos. Os acidentes de Atlantic Empress e Nowruz decorreram de falhas humanas na condução de embarcações, levando a colisões que geraram os derramamentos. Já o acidente de Ixtoc 1 apresentou falha humana devido à análise incorreta da estrutura geológica da área explorada, deixando de prever a fratura que gerou o aumento de pressão repentino (*blowout*).

Diferentemente do acidente da Guerra do Golfo, mas ainda podendo ser relacionado à falha no sistema de segurança, mesmo após a explosão da plataforma de Deepwater Horizon deveria ter ocorrido o acionamento automático do *BOP*, que possivelmente não aconteceu por um já comprometimento de alguns componentes principais. Para evitar os efeitos do derramamento, seria essencial a existência de um sistema reserva independente que garantisse a contingência da maior parte do óleo em caso de falha das válvulas de prevenção à explosão.

Uma parcela considerável da verba total de uma plataforma é destinada à segurança como um todo, desde a árvore de natal e o *BOP* até sensores, alarmes, botes salvavidas e outras estruturas de segurança. Considerando as dimensões de um projeto de exploração e produção de petróleo, não é coerente reduzir o investimento em um dos sistemas mais importantes da plataforma, se não o mais importante.

Em três dos acidentes listados, as condições climáticas extremas se destacam como causas, são eles: Atlantic Empress, Amoco Cadiz e Odyssey. No caso do Atlantic Empress, a tempestade fez com que o navio colidisse com outra embarcação e causasse o derramamento, por falta de visibilidade da tripulação. Nos outros dois acidentes, as condições climáticas causaram falhas mecânicas nas embarcações, que perderam controle da direção.

Por fim, a falta de reparo e manutenção de navios representa a terceira causa mais frequente, merecendo destaque os acidentes de ABT Summer e MT Haven. É importante ressaltar que o MT Haven tinha sido atingido por um míssil e estava em uso sob condições precárias, podendo assim o acidente também ser associado à irresponsabilidade humana.

Apesar da classificação feita, nenhum dos casos foi fruto de uma única falha. Todos eles apresentam ações em sequência que, quando combinadas, geraram os acidentes. Como exemplo, pode ser citado o Atlantic Empress, acidente decorrente de condições climáticas extremas que, por sua vez, levaram à falha humana e, por fim, ao derramamento.

Quanto às consequências, foi observado que sete acidentes levaram à morte de pessoas à bordo: Deepwater Horizon, Atlantic Empress, Nowruz Oil Field, ABT Summer, Castillo de Bellver, MT Haven e Odyssey. Além disso, os acidentes de Deepwater Horizon, Amoco Cadiz e MT Haven apresentaram consequências ambientais severas, enquanto os demais mostraram impactos leves. Exceção deve ser feita ao Ixtoc 1, que não teve a extensão do seu impacto ambiental medida devido à diversidade biológica da região. Portanto, infere-se que a maior parte dos acidentes causou o falecimento de pessoas e quase todos geraram algum impacto à natureza.

Dentre as ações mitigadoras praticadas nos acidentes levantados nesse estudo, três delas foram mais frequentes que as demais: uso de dispersantes, uso de barreiras de contenção e execução de operações de limpezas e recuperação. Nos acidentes de Deepwater Horizon, Ixtoc 1, Castillo de Bellver e Odyssey foram utilizados dispersantes como forma de mitigação. Já as barreiras foram aplicadas nos

acidentes de Deepwater Horizon, Nowruz Oil Field e MT Haven. Operações de limpeza e recuperação foram feitas para mitigar os acidentes da Guerra do Golfo, Amoco Cadiz e MT Haven, de acordo com a literatura.

Para os acidentes em meio à guerra ou em condições climáticas extremas (Deepwater Horizon, Atlantic Empress, Nowruz Oil Field, Amoco Cadiz e Odyssey) as formas de mitigação foram restritas pelo acesso limitado aos locais. Além disso, é preciso pontuar que em alguns casos não houve execução de um plano de mitigação por falta de recursos. No caso do Atlantic Empress, o acidente ocorreu em Trindade e Tobago, que não contou com ajuda externa para conter o derramamento. Já na Guerra do Golfo, embora uma organização que levantou fundos para ajudar na limpeza e recuperação ambiental tivesse 130 membros, apenas 12 contribuíram. Esses dois exemplos mostram que mesmo em situações de extrema agressão à natureza, muitas vezes falta apoio político e econômico para combate aos derramamentos.

Quanto à mitigação, não foram encontradas na literatura evidências dos resultados alcançados, dado que se faz necessário o monitoramento do ecossistema durante anos e envolve altos investimentos. Apenas os acidentes da Guerra do Golfo e de MT Haven tiveram monitoramento a longo prazo, durante mais de dez anos. Mesmo assim, não foram encontrados na literatura relatórios que evidenciem uma completa recuperação dos ecossistemas afetados.

Importante ressaltar que para alcançar um bom resultado com as ações mitigadoras é essencial não apenas o uso de equipamentos e produtos químicos para auxiliar na limpeza da natureza, mas também de um bom monitoramento das condições ambientais nos momentos seguintes ao acidente. A força e a direção dos ventos, a correnteza e a maré são alguns dos parâmetros que devem ser acompanhados e previstos para planejar e otimizar ao máximo as estratégias de mitigação.

Uma questão importante é o tempo entre o início do derramamento, a ação para cessá-lo e a aplicação de medidas mitigadoras. Este fato está diretamente relacionado ao volume de óleo derramado, haja vista que para uma mesma vazão, o

tempo do vazamento é que determinará o volume espalhado em mar e, logo, o impacto sentido pelo ambiente e pela vida marinha local.

No acidente da Guerra do Golfo foi necessário mais de um mês para que fosse possível controlar o derramamento que se dava a altíssima vazão, dado que se tratava de uma zona de guerra e que as válvulas e gasodutos haviam sido abertos propositalmente. De forma similar, no acidente de Nowruz ocorria a guerra Irã-Iraque, que fez com que levasse sete meses até que o poço pudesse ser fechado. No Ixtoc 1, os métodos utilizados inicialmente para fechar o poço foram se mostrando insuficientes ao longo do tempo, até que quase nove meses depois o poço foi cimentado e fechado.

Em todos esses casos, o principal fator que leva os três incidentes a estarem entre os cinco de maior volume derramado na história foi o tempo sem ações de corte. Se as mesmas medidas tomadas após meses tivessem ocorrido rapidamente, os efeitos não teriam sido tão severos.

Na Guerra do Golfo a vazão diária de derramamento era de pelo menos 6 milhões de galões, enquanto o de Ixtoc 1 era de 480 mil galões e em Nowruz era de 63 mil galões. Supondo o início imediato das ações mitigadoras e o fim do vazamento em quinze dias, como foi o caso do Atlantic Empress, teriam sido derramados 90 milhões de galões, 7,2 milhões de galões e aproximadamente 1 milhão de galões para os três acidentes citados, respectivamente. As informações foram organizadas na Tabela 1.

Tabela 1: Volume derramado supondo ações de controle em 15 dias em três acidentes.

Acidente	Volume derramado (milhões de galões)	Tempo para controle do derramamento (dias)	Vazão média dos derramamentos (galões por dia)	Volume derramado supondo controle em 15 dias (milhões de galões)
Guerra do Golfo	300,0	40	6.000.000	90,0
Ixtoc 1 Oil Well	140,0	294	480.000	7,2
Nowruz Oil Field	88,0	220	63.000	0,9

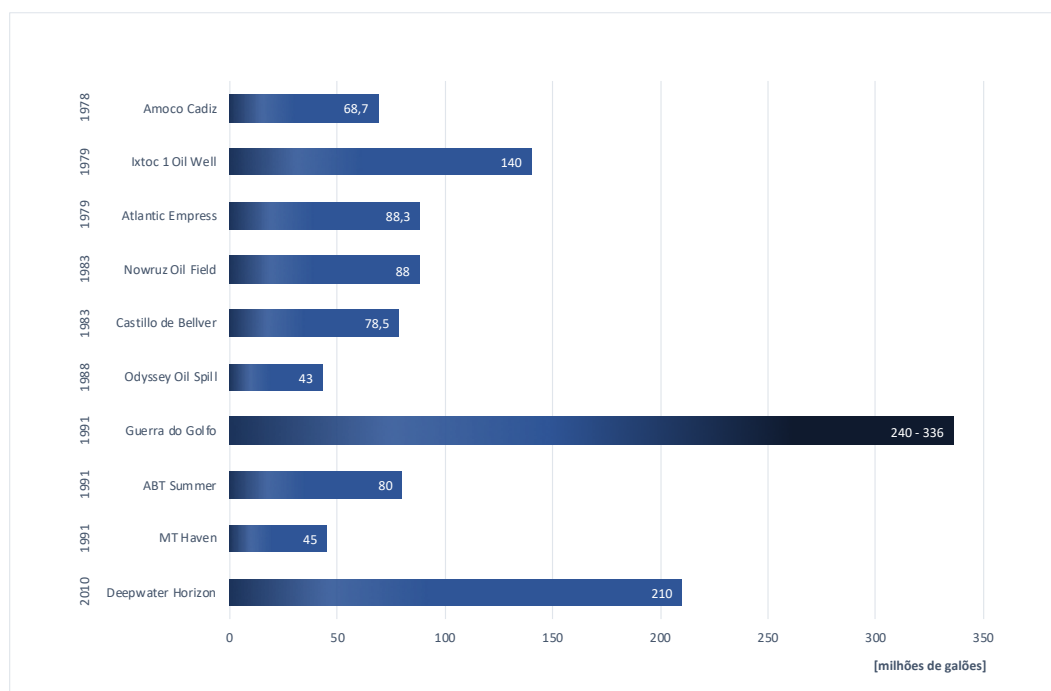
Fonte: Própria (2020).

Apesar de ainda serem volumes muito elevados, apenas o da Guerra do Golfo ainda entraria para a lista dos dez maiores derramamentos de petróleo *offshore* da história. Em todos os casos, teriam sido menores as extensões de impacto do óleo no mar, evitando milhares de mortes de vidas marinhas e desequilíbrio ecológico, além do impacto econômico e social atrelado.

Finalmente, as ações de prevenção identificadas após os acidentes foram classificadas em dois grupos:

1. Mudanças nas regulamentações e responsabilidade socioambiental como resposta aos casos em que houve falha na legislação estabelecida, seja por falta de manutenção de equipamentos, obsolescência ou irresponsabilidade humana. Isso se aplica à metade dos acidentes estudados neste trabalho: Deepwater Horizon, Atlantic Empress, Nowruz Oil Field, ABT Summer e MT Haven. Essas medidas vem evoluindo ao longo do tempo, desde os acidentes mais antigos (Atlantic Empress, 1979) até os mais recentes (Deepwater Horizon, 2010). Isso mostra que o mundo está em constante transformação e que as regulamentações vem sendo aprimoradas no sentido de evitar uma nova ocorrência de acidentes, como a obrigatoriedade do uso de casco duplo nas embarcações de transporte de carga a partir do acidente de ABT Summer.
2. Melhores métodos de resgate e resposta mais rápida aos acidentes. Os acidentes de Ixtoc 1 e Amoco Cadiz foram os primeiros a ocorrer. Isso fez com que servissem de exemplo e de ponto de partida para mudanças na legislação visando prevenção, preparação e remediação. O objetivo é evitar novas ocorrências de acidentes pelas mesmas causas ou com as mesmas consequências e, para isso é essencial ter melhores métodos de resposta, incluindo desde conhecimento prévio de características do ambiente marinho local até formas mais velozes e eficazes de reagir. A Figura 16 mostra, em ordem cronológica, os acidentes estudados e os respectivos volumes derramados.

Figura 16: Os dez maiores acidentes *offshore* em volume de petróleo derramado, organizados cronologicamente.



Fonte: Própria (2020).

Não há registro de ações de prevenção na literatura para dois acidentes – Castillo de Bellver e Odyssey. O da Guerra do Golfo deixou como legado a lição aprendida de que o sistema de segurança de todas as instalações que podem gerar algum derramamento de petróleo devem prevenir ações propositais de abertura de válvula e oleodutos.

Tanto o revestimento dos dutos quanto os mecanismos de abertura de válvulas devem ser projetados para evitar que pessoas de fora da equipe técnica responsável consigam acioná-las ou que tubulações sejam facilmente perfuradas. Ainda assim, é interessante que sejam desenvolvidos mecanismos de intertravamento e proteção automáticos para que, em caso de falha do *BOP* sem o acompanhamento da equipe responsável, o derramamento possa ser controlado por um sistema de *backup*, seja em substituição das válvulas principais ou em válvulas intermediárias de trechos pré-determinados.

7 CONCLUSÃO

O trabalho tinha como objetivo comparar os dez maiores acidentes em volume de óleo derramado em ambiente marinho. Foram identificadas e analisadas causas, consequências, ações executadas para mitigação e para prevenção de novas ocorrências. Finalmente foi elaborado um quadro comparativo mostrando diferenças e similaridades entre os acidentes.

Derramamentos de óleo são prejudiciais independente de onde, como ou quando ocorram. É necessário maior cautela, dedicação e prioridade nos investimentos em sistemas de prevenção (controle e regulação) a fim de evitar derramamentos em navios de transportes ou em plataformas, e prevenir ao máximo a ocorrência de acidentes com grande potencial de impacto ambiental e socioeconômico.

Muitos dos acidentes estudados apresentam como uma de suas principais causas a irresponsabilidade humana na tomada de decisão e ações. Assim, é importante treinamento intensivo, além da mudança na legislação e nos processos de implementação. Isso apesar do rápido desenvolvimento da indústria de óleo e gás, que leva a novos desafios e à incerteza da eficácia dos novos regulamentos. Também observa-se que 60% dos acidentes estudados estão associados à embarcações, ou seja, ao transporte de petróleo em mar. Em adição, o estudo mostra que os acidentes não são fruto de uma única falha, mas de falhas em sequência que, quando combinadas, geraram os resultados apresentados.

Foram levantadas as principais medidas mitigadoras para remediar os maiores acidentes, como o uso de barragens flutuantes de contenção, barricadas de areia e dispersantes. Ainda assim, dificilmente os efeitos foram completamente restaurados a curto prazo, em alguns casos fizeram-se necessários anos de acompanhamento do ambiente afetado.

A mitigação dos derramamentos deve acontecer sempre no menor tempo hábil para que diminua em muitas vezes a extensão do impacto. Também é de grande importância o monitoramento das condições climáticas para que o plano de recuperação e limpeza seja o mais eficaz possível.

Foram levantados apontamentos de organizações e governos demonstrando falta de recursos para lidar com a mitigação de derramamentos de grande porte. Entretanto, regulamentação e as tecnologias vem sendo aprimoradas ao longo do tempo. Também deve ser considerado o comportamento humano como um importante fator gerador de acidentes, causando grandes impactos na natureza, principalmente em áreas de biodiversidade tropical e grande desigualdade social. Assim, as discussões devem ser direcionadas para melhoria dos processos e treinamento da mão de obra visando minimizar o número de acidentes.

REFERÊNCIAS

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: **Indicadores de Desempenho**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/dados-de-desempenho/indicadores-de-desempenho>>. Acesso em 20 maio 2019.

ARANCIBIA, A., BOTELLO, A., DURÁN, S., PARTIDA, M., & SOTO, L. (2014). **The environmental legacy of the Ixtoc-1 oil spill in Campeche Sound, southwestern Gulf of Mexico**. 07 nov 2014. *Frontiers in Marine Science*. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2014.00057/full>>. <https://doi.org/10.3389/fmars.2014.00057>. Acesso em: 17 outubro 2019.

AUTENCIO, HERNAN (2014). **Odyssey Oil Spill 1988**. Prezi, 7 maio 2014. Disponível em: <<https://prezi.com/fvorezewunka/odyssey-oil-spill-1988/>>. Acesso em: 20 outubro 2019.

AZEVEDO, RICARDO DE C. **Interação com a Engenharia de Poço**, Aula 3. PMI3338 - Análise de Poços e Avaliação de Reservatórios. Departamento de Minas e de Petróleo, POLI – USP. 2019.

BRASIL ESCOLA: **Guerra do Golfo**. 21 de agosto de 2018. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Q4TO1B7UQRU>>. Acesso em 15 outubro 2019.

BRET-ROUZAUT, N; FAVENNEC, J. **Petróleo & Gás Natural**: Como produzir e a que custo. 2ª Ed. 2011.

CASSELMAN, A. (2010). **10 Biggest Oil Spills in History**. *Popular Mechanics*, 7 maio 2010. Disponível em: <<https://www.popularmechanics.com/science/energy/g1765/biggest-oil-spills-in-history/?slide=5>>. Acesso em: 25 março 2020.

CENTRE FOR REVIEWS AND DISSEMINATION. **Systematic Review**: CRD's guidance for undertaking reviews in health care. University of York, 2009.

CETESB. **Principais acidentes internacionais**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/wp-content/uploads/sites/22/2013/12/Principais-acidentes-internacionais.pdf>>. Acesso em: 8 junho 2019.

CORRÊA, ALESSANDRA. **Meio Ambiente: o que aconteceu com os responsáveis por um dos maiores desastres dos EUA**. 4 fevereiro 2019. Winston-Salem, EUA. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/internacional-47121631>>. Acesso em: 25 março 2020.

DEVASTATING DESASTERS: **Gulf War Oil Spill – 1991**. 2019. Disponível em: <<https://devastatingdisasters.com/gulf-war-oil-spill-1991/>>. Acesso em: 19 outubro 2019.

ENCYCLOPEDIA BRITANNICA (4 MAIO 1999). **Persian Gulf War: 1990 – 1991**. Written by: The Editors of Encyclopaedia Britannica. Disponível em: <<https://www.britannica.com/event/Persian-Gulf-War>>. Acesso em: 25 março 2020.

ENERGY GLOBAL NEWS (14 julho 2018). **August 1983: Castillo de Bellver Explodes Off the Coast of South Africa**. Disponível em: <<http://www.energyglobalnews.com/august-1983-castillo-de-bellver-explodes/>>. Acesso em: 20 outubro 2019.

ESPEN, J., & VINNEM, J. E. (2011). **Quantitative risk analysis offshore — Human and organizational factors**. *Reliability Engineering and System Safety*, 96(4), 468–479. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2010.12.013>

GILLIS, CARLY. **Atlantic Empress and Aegean Captain Oil Spill: A Brief History**. Counter Spill, 17 set 2011. Disponível em: <http://www.counterspill.org/article/atlantic-empress-and-aegean-captain-oil-spill-brief-history>. Acesso em: 19 outubro 2019.

GORDON, R. P. E. (1998). **The contribution of human factors to accidents in the offshore oil industry**, 61, 95–108.

GRUBESIC, T. H., WEI, R., NELSON, J. (2017). **Optimizing oil spill cleanup efforts: A tactical approach and evaluation framework**. *Marine Pollution Bulletin* 125, p. 318 – 329. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.012>.

GUNDLACH, E., BOEHM, P., MARCHAND, M., ATLAS, R., WARD, D., & WOLFE, D. (1983). **The fate of Amoco Cadiz Oil**. *Science* 221, p. 122 – 129. DOI: 10.1126/science.221.4606.122.

HUSSEINI, T. (2018). **The five biggest oil spills offshore: lessons to learn**. *Offshore Technology*, 10 agosto 2018. Disponível em: <<https://www.offshore-technology.com/features/five-biggest-oil-spills-lessons/>>. Acesso em: 24 agosto 2019.

INCIDENT NEWS. **Nowruz Oil Field**. 10 fevereiro 1983. Disponível em: <<https://incidentnews.noaa.gov/incident/6262#!>>. Acessado em: 25 de março de 2020.

ISMAIL, Z., KUAN, K., ZULAIKHA, S., HING, K., YEE, S., CHAO, Z., & MUNIRUZZAMAN, S. (2014). **Evaluating accidents in the offshore drilling of petroleum**: Regional picture and reducing impact. *MEASUREMENT*, n 51, p. 18–33. <<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.01.027>>

ITOPF: **Promoting Effective Spill Response**. Disponível em: <<http://www.itopf.org/knowledge-resources/data-statistics/statistics/>>. Acesso em 8 jun. 2019.

JONES, PETER. **Mediterranean Oil Spills** (1991). *Marine Pollution Bulletin*, Volume 22, n 6, p. 260-261.

KAUSHIK, M. (2019). **11 Major Oil Spills Of The Maritime World**. Marine Insight, Última atualização em 10 janeiro 2019. Disponível em: < <https://www.marineinsight.com/environment/11-major-oil-spills-of-the-maritime-world/> >. Acesso em 26 agosto 2019.

LANGEWIESCHE, W.: **Salvage beast**. VANITY FAIR, 12 nov 2014. Disponível em: < <https://www.vanityfair.com/news/2014/12/nick-sloane-costa-concordia-salvage> >. Acesso em: 20 outubro 2019.

LEDERER, EDITH. **27 missing off foundering oil tanker** (11 nov 1988). Spartanburg Herald-Journal, A10. Disponível em: <<https://news.google.com/newspapers?id=YOoeAAAAIBAJ&sjid=lc4EAAAAIBAJ&dq=odyssey%20oil%20spill&hl=pt-BR&pg=5066%2C2728248>>. Acesso em: 20 outubro 2019.

LEFFLER, W. L.; PATTAROZZI, R.; STERLING, G. **Deepwater Petroleum: Exploration & Production**. 2nd Ed. Oklahoma: PennWell Corporation, 2011.

LI, P., CAI, Q., LIN, W., CHEN, B., ZHANG, B. (2016). **Offshore oil spill response practices and emerging challenges**. Marine Pollution Bulletin 110, p. 6 – 27. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.020>.

MEED MIDDLE EAST ECONOMIC DIGEST: **Gulf Clean-up Funds run low**. 24 janeiro 1992. Volume 36, Issue 3, p. 10. Gale Academic OneFile. Acesso em: 25 março 2020.

MOLDAN, A., JACKSON, L., McGIBBON, S., & WESTHUIZEN, J. (1985). **Some aspects of the Castillo de Bellver Oilspill**. Marine Pollution Bulletin, Volume 16, n 3, p. 97 – 102. Sea Fisheries Research Institute, Private BagX2, 8012 Roggebaai, South Africa. Acesso em: 22 de outubro de 2020.

OIL & GAS PORTAL: **Upstream – Petroleum Exploration**. 2017. Disponível em: <<http://www.oil-gasportal.com/upstream/petroleum-exploration/>>. Acesso em 15 outubro 2019.

OILFIELD TECHNOLOGY: **Responding to an oil spill**. 24 junho 2019. Disponível em: <<https://www.oilfieldtechnology.com/special-reports/24062019/responding-to-an-oil-spill/>>. Acesso em: 15 outubro 2019.

PIPELINE & GAS JOURNAL: **Offshore – BP's Report On Causes Of Gulf Of Mexico Tragedy Spreads Blame, 72**. Outubro 2010.

POPULAR MECHANICS (2010). **10 Biggest Oil Spills in History**. 7 maio 2010. Disponível em: <<https://www.popularmechanics.com/science/energy/g1765/biggest-oil-spills-in-history/?slide=9>> Acessado em: 29 maio 2020.

SADIQ, M. & ZAID, T. (1984). **Vanadium and Nickel Content of Nowruz Spill Tar Flakes and the Saudi Arabian Coastline and Their Probable Environmental Impact**. Environmental Contamination and Toxicology, n 32, p. 635 – 639.

SAFETY 4 SEA: **MT Haven: The worst oil spill ever in the Mediterranean.** 2019. Disponível em: <<https://safety4sea.com/cm-mt-haven-the-worst-oil-spill-ever-in-the-mediterranean/>>. Acesso em 8 setembro 2019.

SANDULLI, R., TRIPALDI, G., & MORUCCI, C. (1992). **Monitoring the Haven Oil Spill.** Marine Pollution Bulletin, Volume 24, n 11, p. 528. DOI: [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(92\)90702-8](https://doi.org/10.1016/0025-326X(92)90702-8).

SPIEGEL ONLINE: **Deepwater Horizon Katastrophe.** 04 set 2014. Disponível em: <<https://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/deepwater-horizon-bp-traegt-hauptschuld-an-oelkatastrophe-a-989960.html>>. Acesso em: 19 outubro 2019.

TAKEPART: **10 of the Worst Oil Spills Ever (PHOTOS).** 01 mar 2013. Disponível em: <<http://www.takepart.com/photos/worlds-worst-oil-spills/10-mt-haven-tanker-oil-spill>>. Acesso em: 19 outubro 2019.

TALEGHANI, N. D., & TYAGI, M. (2019). **Impacts of Major Offshore Oil Spill Incidents on Petroleum Industry and Regional Economy**, 139 (March 2017), 1–7. <https://doi.org/10.1115/1.4035426>.

TAPROOT (2018). **Remembering An Accident: Ixtoc 1 Oil Spill.** Anne Roberts, 27 de junho 2018. Disponível em: <<https://www.taproot.com/remembering-an-accident-ixtoc-i-oil-spill-2/>> Acesso em: 29 maio 2020.

THE COCHRANE COLLABORATION. History. Oxford (UK): **The Cochrane Collaboration**; 2012 [citado em 11 de fevereiro de 2014]. Disponível em: <<http://www.cochrane.org/about-us/history>>. Acesso em 15 maio de 2019.

THE MAIN EVENT: **Amoco Cadiz Oil Spill.** 01 dez 2015. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=pJKEqYA5xsc>>. Acesso em: 20 outubro 2019.

THE NEW YORK TIMES: **Ship breaks up off Cape Town, sending oil spill toward beaches.** 7 agosto 1983, seção 1, p. 1. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/1983/08/07/world/ship-breaks-up-off-cape-town-sending-oil-spill-toward-beaches.html>>. Acesso em: 20 outubro 2019.

THE NEW YORK TIMES: **Tanker Splits in 2 in Atlantic Storm.** 11 novembro 1988, seção A, p. 8. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/1988/11/11/world/tanker-splits-in-2-in-atlantic-storm.html>>. Acesso em: 20 outubro 2019.

THE TELEGRAPH: **10 largest oil spills in history.** 2011. Disponível em: <<https://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/australiaandthepacific/newzealand/8812598/10-largest-oil-spills-in-history.html>>. Acesso em 20 maio 2019.

THE WALL STREET JOURNAL. **BP Is Found Grossly Negligent in Deepwater Horizon Disaster.** 4 de setembro de 2014. Disponível em: <<https://www.wsj.com/articles/u-s-judge-finds-bp-grossly-negligent-in-2010-deepwater-horizon-disaster-1409842182>>. Acesso em 6 maio de 2019.

THOUGHTCO: **5 Environmental Consequences of Oil Spill**. 2019. Disponível em: <<https://www.thoughtco.com/environmental-consequences-of-oil-spills-1204088>>. Acesso em 7 maio 2019.

WALDICHUK, MICHAEL. **Retrospect of the Ixtoc I Blwout**. Marine Pollution Bulletin, Vol. 11, pp. 184-186 – Pergamon Press Ltd. 1980. Printed in Great Britain.

WEEBLY GEKAS: **Nowruz Oil Field**. 2014. Disponível em: <https://gekas.weebly.com>. Acesso em: 19 outubro 2019.

YAMAMOTO, MÁRCIO. **Construção de Poços (Perfuração)**, Aula 7. PMI3101 – Introdução à Engenharia Aplicada à Indústria Mineral. Departamento de Minas e de Petróleo, POLI – USP. 2015.

ANEXOS

ANEXO A – ARTIGO SÍNTESE

Este artigo foi preparado como requisito para completar o curso de Engenharia de Petróleo na Escola Politécnica da USP, referente à disciplina PMI3349 – Trabalho de Conclusão de Curso II.

Resumo

Ao longo da história da indústria do petróleo, diversos acidentes provocaram derramamento de óleo em mar. Derramamentos, mesmo que pequenos, podem ser graves e resultar em impactos severos ao meio ambiente. O objetivo do trabalho é identificar os dez maiores acidentes de petróleo offshore em volume de óleo derramado da história utilizando como metodologia a Revisão Sistemática da Literatura. Foram comparadas causas, consequências, ações executadas para mitigação e prevenção dos acidentes. O estudo mostrou que as principais causas dos acidentes foram falhas humanas, condições climáticas extremas e falta de reparo e manutenção das embarcações. A maior parte dos acidentes teve como consequência a morte de pessoas a bordo e impactos à natureza. Dentre as medidas mitigadoras identificadas estão o uso de barragens flutuantes de contenção, barricadas de areia e dispersantes. A indústria do petróleo buscou, ao longo do tempo, aprimorar as regras e práticas buscando maior segurança dos processos, tanto para o homem quanto para o meio ambiente. Ainda assim, dificilmente os efeitos dos derramamentos foram completamente restaurados no curto prazo e, em alguns casos, foram necessários anos de acompanhamento do ambiente afetado.

Abstract

During the oil industry history, several accidents have caused offshore oil spills. Even the small ones can be serious and can result in severe impacts to the environment. This study aim is to identify the ten largest offshore petroleum spills in volume dropped in history using as methodology the Literature Systematic Review. Were compared its causes, consequences, actions to mitigate and prevent. The study showed that the main accident causes were humans' mistakes, extreme weather conditions and lack of repair and maintenance on vessels. Most accidents had as consequence death of people on board and nature impacts. Among the mitigating measures identified are the use of floating dams of containment, sand barricades and dispersants. The petroleum industry has improved, over the time, spills rules and practices to be increasingly safer, both to humans and environment. Even so, hardly the effects were completely restored in the short term and, in some cases, monitoring the affected environment has been necessary for years.

1. Introdução

O gradual esgotamento de reservas em terra (*onshore*) e os importantes avanços tecnológicos das últimas décadas fizeram com que crescesse a exploração de petróleo no mar (*offshore*), em reservas cada vez mais distantes da costa. As complexidades e os custos envolvidos na exploração e produção (E&P) de petróleo em condições tão adversas são grandes, assim como o risco da ocorrência de acidentes.

Ao longo da história da indústria do petróleo, diversos acidentes provocaram derramamento de óleo em mar. Derramamentos, mesmo que pequenos, podem ser graves e resultar em impactos severos ao meio ambiente. A indústria do petróleo aprimorou, ao longo do tempo, as regras e práticas para prevenir derramamentos buscando cada vez mais segurança para o homem e para o meio ambiente.

Apesar do aumento na eficiência e na prevenção, acidentes dessa natureza podem apresentar impactos devastadores e muitas vezes irreversíveis. É comum observar após acidentes de grande porte, como os que serão estudados, a fragilização dos ecossistemas marinho e costeiro, com a contaminação de mamíferos marinhos, pássaros, peixes e demais animais desse habitat. O desequilíbrio ecológico causado pelo derramamento de óleo em mar inicia-se já pela contaminação de plânctons, que se encontram na base da cadeia alimentar, podendo gerar inúmeros desdobramentos.

Derramamentos podem ser ocasionados por ações humanas irresponsáveis – inclusive guerras – condições climáticas extremas, falta de manutenção das embarcações, acidentes durante o transporte do óleo, entre outros.

Se, por um lado, acidentes podem causar diversos tipos de danos, por outro podem trazer aprendizado, resultando em ações preventivas e modificações na legislação, além de impor penalizações às empresas envolvidas para que o cenário não se repita.

O trabalho tem como objetivo comparar os dez maiores acidentes em volume de óleo derramado em ambiente marinho. Serão analisadas suas causas, consequências, ações executadas para mitigação e prevenção de novas ocorrências.

2. Metodologia

A metodologia utilizada no trabalho é a Revisão Sistemática da Literatura, que tem por objetivo o levantamento sistemático da produção científica de uma área do conhecimento. Dessa forma, é possível analisar o conhecimento adquirido de forma

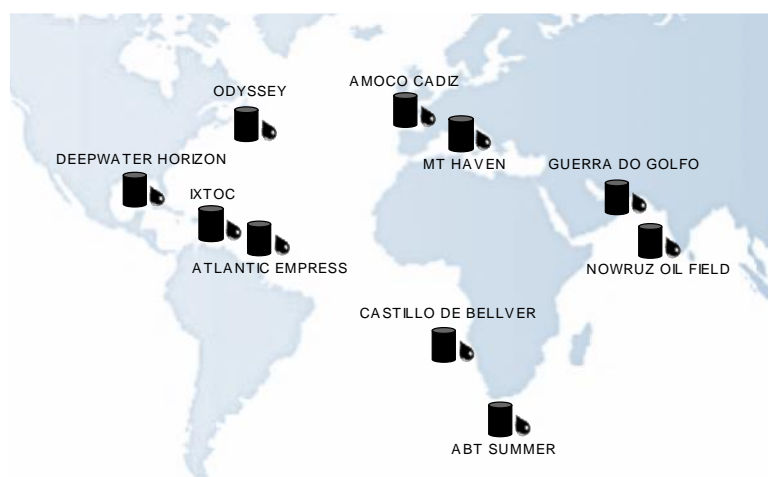
ordenada e padronizar os métodos de pesquisa, permitindo ainda identificar possíveis caminhos para pesquisas futuras (THE CHROCHANE COLLABORATION, 2014).

O diferencial deste método em relação à revisão bibliográfica tradicional é a definição de uma sequência de etapas de forma a permitir sua replicação. Sendo assim, é de extrema importância a padronização das técnicas utilizadas para a pesquisa. Os dez maiores acidentes de petróleo offshore em volume de óleo derramado foram selecionados com base em dois websites: Marine Insight³ e The Telegraph⁴. As informações apontadas foram, também, confirmadas em outras fontes de pesquisa, como a revista Offshore Technology e o website Mother Nature Network.

3. Os dez maiores derramamentos

Ao longo da história, alguns acidentes de petróleo offshore se destacaram pelo volume de óleo derramado. A Figura 1 mostra a localização dos dez maiores derramamentos de petróleo em mar até hoje e que serão estudados nesse trabalho. São eles: Guerra do Golfo, Deepwater Horizon, Ixtoc 1, Atlantic Empress, Nowruz Oil Field, ABT Summer, Castillo de Bellver, Amoco Cadiz, MT Haven e Odyssey.

Figura 1: Localização dos dez maiores derramamentos de petróleo *offshore*.



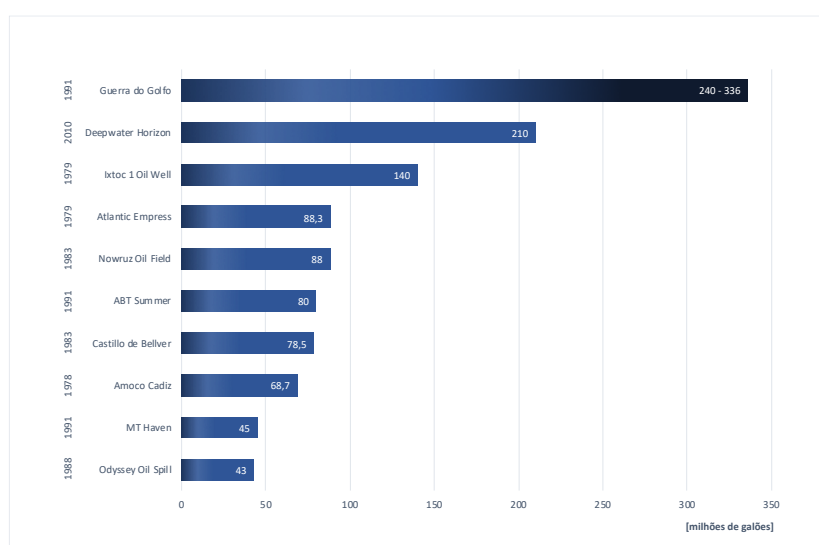
Fonte: Própria (2020).

³ Disponível em: <<https://www.marineinsight.com/environment/11-major-oil-spills-of-the-maritime-world/>> Acessado em: 26 agosto, 2019.

⁴ Disponível em: <<https://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/australiaandthepacific/newzealand/8812598/10-largest-oil-spills-in-history.html>> Acessado em: 20 maio, 2019.

Os acidentes foram organizados em ordem decrescente de volume de óleo derramado (Figura 2), apresentando informações como: local do incidente, data da ocorrência, contexto, suas causas, consequências e ações mitigadoras e outras informações que ajudem a compreender cada um deles. As informações foram então organizadas para a análise comparativa, com o objetivo de identificar similaridades e diferenças entre os derramamentos.

Figura 2: Os dez maiores acidentes *offshore* em volume de petróleo derramado.



Fonte: Própria (2020).

4. Análise Comparativa dos Derramamentos de Petróleo

Analisando os dez derramamentos quanto às causas, foram observadas que as principais delas são: falha humana, condições climáticas extremas e falha na manutenção das embarcações. Derramamentos decorrentes de falha humana foram identificados em metade dos acidentes: Guerra do Golfo, Deepwater Horizon, Ixtoc 1, Atlantic Empress e Nowruz Oil Field, ou seja, nos cinco maiores acidentes dentre os estudados.

Quanto às consequências, foi observado que seis acidentes levaram à morte de pessoas à bordo: Deepwater Horizon, Atlantic Empress, Nowruz Oil Field, ABT Summer, MT Haven e Odyssey. Além disso, os acidentes de Deepwater Horizon, Amoco Cadiz e MT Haven apresentaram consequências ambientais severas, enquanto os demais mostraram impactos leves. Exceção deve ser feita ao Ixtoc 1, que não teve a extensão do seu impacto ambiental medida devido à diversidade

biológica da região. Portanto, infere-se que a maior parte dos acidentes causou o falecimento de pessoas e quase todos geraram algum impacto à natureza.

Dentre as ações mitigadoras praticadas nos acidentes levantados nesse estudo, três delas foram mais frequentes que as demais: uso de dispersantes, uso de barreiras de contenção e execução de operações de limpezas e recuperação. Nos acidentes de Deepwater Horizon, Ixtoc 1, Castillo de Bellver e Odyssey foram utilizados dispersantes como forma de mitigação. Já as barreiras foram aplicadas nos acidentes de Deepwater Horizon, Nowruz Oil Field e MT Haven. Operações de limpeza e recuperação foram feitas para mitigar os acidentes da Guerra do Golfo, Amoco Cadiz e MT Haven, de acordo com a literatura.

Quanto à mitigação, não foram encontradas na literatura evidências dos resultados alcançados, dado que se faz necessário o monitoramento do ecossistema durante anos e envolve altos investimentos. Apenas os acidentes da Guerra do Golfo e de MT Haven tiveram monitoramento a longo prazo, durante mais de dez anos. Mesmo assim, não foram encontrados na literatura relatórios que evidenciem uma completa recuperação dos ecossistemas afetados.

Finalmente, as ações de prevenção identificadas após os acidentes foram classificadas em dois grupos: mudanças nas regulamentações e responsabilidade socioambiental como resposta aos casos em que houve falha na legislação estabelecida, seja por falta de manutenção de equipamentos, obsolescência ou irresponsabilidade humana; e Melhores métodos de resgate e resposta mais rápida aos acidentes.

5. Conclusão

Derramamentos de óleo são prejudiciais independente de onde, como ou quando ocorram. É necessário maior cautela, dedicação e prioridade nos investimentos em sistemas de prevenção (controle e regulação) a fim de evitar derramamentos em navios de transportes ou em plataformas, e prevenir ao máximo a ocorrência de acidentes com grande potencial de impacto ambiental e socioeconômico.

Muitos dos acidentes estudados apresentam como uma de suas principais causas a irresponsabilidade humana na tomada de decisão e ações. Assim, é importante treinamento intensivo, além da mudança na legislação e nos processos de implementação. Isso apesar do rápido desenvolvimento da indústria de óleo e gás, que leva à novos desafios e à incerteza na eficácia dos novos regulamentos. Em adição, o estudo mostra que os acidentes não são fruto de uma única falha, mas de falhas em sequência que, quando combinadas, geraram os resultados apresentados.

Foram apresentadas as principais medidas mitigadoras para remediar os maiores acidentes, como o uso de navios de separação, barragens flutuantes de contenção, barricadas de areia e dispersantes. Ainda assim, dificilmente os efeitos foram completamente restaurados a curto prazo, em alguns casos fizeram-se necessários anos de acompanhamento do ambiente afetado.

A mitigação dos derramamentos deve acontecer sempre no menor tempo hábil para que diminua em muitas vezes a extensão do impacto. Também é de grande importância o monitoramento das condições climáticas para que o plano de recuperação e limpeza seja o mais eficaz possível.

Foram levantados apontamentos de organizações e governos demonstrando falta de recursos para lidar com a mitigação de derramamentos de grande porte. Entretanto, regulamentação e as tecnologias vem sendo aprimoradas ao longo do tempo. Também deve ser considerado o comportamento humano como um importante fator gerador de acidentes, causando grandes impactos na natureza, principalmente em áreas de biodiversidade tropical e grande desigualdade social. Assim, as discussões devem ser direcionadas para melhoria dos processos e treinamento da mão de obra visando minimizar o número de acidentes.

6. Referências

KAUSHIK, M. (2019). **11 Major Oil Spills Of The Maritime World**. Marine Insight, Última atualização em 10 janeiro 2019. Disponível em: <<https://www.marineinsight.com/environment/11-major-oil-spills-of-the-maritime-world/>>. Acesso em 26 agosto 2019.

THE COCHRANE COLLABORATION. History. Oxford (UK): **The Cochrane Collaboration**; 2012 [citado em 11 de fevereiro de 2014]. Disponível em: <<http://www.cochrane.org/about-us/history>>. Acesso em 15 maio de 2019.

THE TELEGRAPH: **10 largest oil spills in history**. 2011. Disponível em: <<https://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/australiaandthepacific/newzealand/8812598/10-largest-oil-spills-in-history.html>>. Acesso em 20 maio 2019