

Utilização de *Bow Tie* como ferramenta para avaliação da continuidade operacional de ativos maduros

Using *Bow Tie* as a tool for assessing the operational continuity of mature assets

DOI:10.34117/bjdv8n6-002

Recebimento dos originais: 21/04/2022

Aceitação para publicação: 31/05/2022

Rafaela Raimundi David de Andrade

Graduada em Engenharia de Segurança do trabalho

Instituição: Universidade Salvador - UNIFACS

Endereço: Rua Edmar Guimarães 65, Pituba, Salvador - BA

E-mail: rafaelaraimundi.eng@gmail.com

Felipe Augusto Gomides Pereira Gimenes

Mestre em Engenharia Ambiental

Instituição: Instituto Federal Fluminense - IFF

Endereço: Rua Anita de Carvalho Pereira, Macaé, Rio de Janeiro - RJ

E-mail: felipegimenes@yahoo.com.br

Arijuna Marques Costa Gimenes

Especialista em Engenharia de segurança do Trabalho

Instituição: Universidade Candido Mendes

Endereço: Rua Anita de Carvalho Pereira, Macaé, Rio de Janeiro - RJ

E-mail: arijuna@gmail.com

Charles da Silva Honório

Especialista em Engenharia de Segurança de Processo

Instituição: Universidade Estadual do Amazonas - UEA

Endereço: Avenida Darcy Vargas 645, Parque 10 de Novembro, Manaus - AM

E-mail: charleshonorio@gmail.com

Adonias Gomes Pereira

Técnico de Petróleo e Gás

Instituição: Instituto de Educação Tecnológica Avançada do Amazonas - IETAAM

Endereço: Avenida Sargento Herminio Sanpaio 1415, São Gerardo, Fortaleza - CE

E-mail: dodo.sgt@hotmail.com

RESUMO

Durante o final do ciclo de vida operacional de ativos de produção, as organizações realizam suas avaliações econômico-financeiras para verificar se os ativos ainda são rentáveis, justificando ou não sua permanência em operação. Entretanto, além da avaliação econômico-financeira, as companhias devem se questionar até que momento estes ativos podem permanecer em operação em níveis aceitáveis de segurança. Na indústria de óleo e gás *offshore* não é diferente. No presente artigo, é apresentado um *framework* com a utilização da técnica de *Bow Tie* para esta avaliação, de forma a auxiliar a análise e o processo de tomada de decisão sobre o descomissionamento ou a

continuidade operacional de ativos de produção já maduros, em final de ciclo de vida operacional, a fim de influenciar no valor do ponto de equilíbrio (*break-even*) do projeto, sobre a permanência do ativo em operação de forma segura ou seu descomissionamento.

Palavras-chave: *bow tie*, segurança de processo, avaliação de continuidade operacional, barreiras de segurança.

ABSTRACT

In the end of the operational life cycle of a production asset, organizations carry out their economic-financial assessments to verify if the assets are still profitable and can stay in operation. However, in addition to the financial/economic assessment, companies should question how long these assets can remain in operation at acceptable levels of safety. On the offshore oil and gas industry is no different. In this article, a framework is presented using Bow Tie Analysis for this evaluation, to assist the analysis and decision making on the decommissioning or operational continuity of production assets that are already mature at the end of its operational life cycle. This result influence the value of the break-even point of the project, helping the decision-making on the decommissioning or permanence of the asset in safety operation.

Keywords: bow tie, process safety, operational continuity evaluation, safety barriers.

1 INTRODUÇÃO

Na indústria de exploração e produção de óleo e gás *offshore*, onde ocorrem operações desafiadoras em ambientes hostis, existem diversos perigos e riscos que são gerenciados pelos sistemas de gestão para que os acidentes maiores sejam evitados (SILVESTRE, GIMENES e SILVA NETO, 2017).

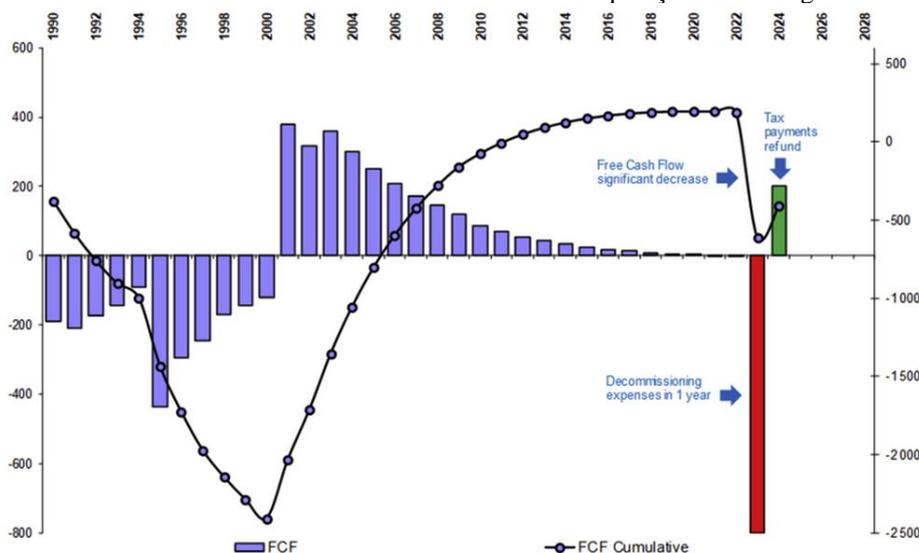
Devido a esse ambiente, a preservação dos ativos torna-se cada vez mais complexa com o passar dos anos de operação das unidades. Atualmente, há uma grande quantidade de unidades maduras ainda em operação em fim de ciclo de vida. Com isso, surge a necessidade de avaliação da possibilidade de extensão do ciclo operacional destas unidades para além de seu período de projeto; caso a avaliação aponte que o ativo se tornou deficitário em termos financeiros, o processo de descomissionamento deve ser iniciado. Portanto, a avaliação de continuidade operacional deve se tornar cada vez mais rotineira na indústria, à medida que as instalações se aproximam do final de seu ciclo de vida.

Como pode ser observado na figura 1, o fluxo de caixa livre de uma operação de exploração e produção de petróleo de uma plataforma no Mar do Norte, operando em lâmina d'água de 80 m, com produção de 65.000 barris/dia, atinge o seu *break-even* aos 16 anos de produção. Isto é, somente após este período é que o retorno sobre o capital

investido se torna positivo. No entanto, com o passar dos anos, com a depleção dos reservatórios e poços, ao final do ciclo de vida, o ativo torna-se deficitário em relação ao fluxo de caixa e, neste período, ainda devem ser despendidos custos referentes ao descomissionamento.

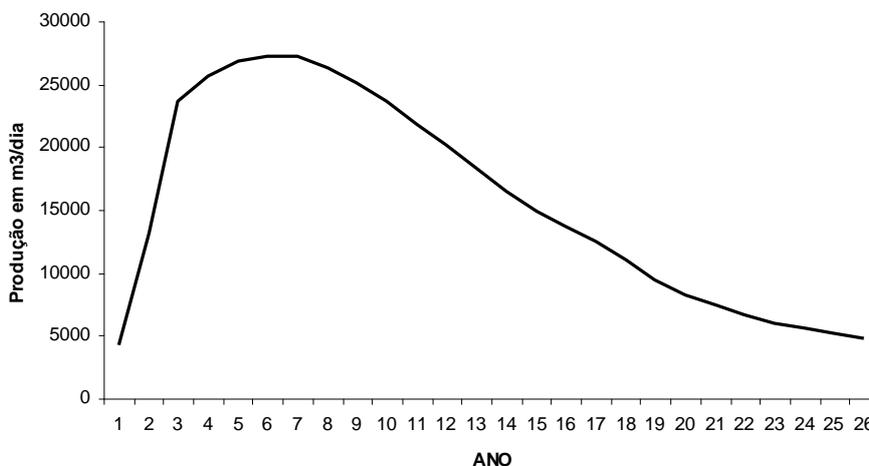
Segundo Miranda e Brick (2004), uma plataforma de petróleo é normalmente projetada para operar por 25 anos, tempo este que corresponde ao período de esgotamento das reservas de hidrocarbonetos. Entretanto, existem ao redor do globo, plataformas operando há mais de 25 anos, conforme pode ser visto na figura 2.

Figura 1 - Fluxo de caixa livre e fluxo de caixa acumulado de uma operação de óleo e gás no Mar do Norte.



Fonte: REINO UNIDO (2014) apud KHALIDOV et al (2021).

Figura 2 - Perfil de produção de uma plataforma de petróleo.



Fonte: MIRANDA e BRICK (2003).

Dessa forma, além do valor presente líquido ou do fluxo de caixa livre ao longo do tempo, a avaliação do risco operacional, considerando a situação/integridade das barreiras de segurança existentes, também deve ser considerada para a tomada decisão em relação à continuidade operacional ou não dos ativos de produção. Essa avaliação deve levar em consideração o risco residual a que a operação está exposta, avaliando-se a situação atual das barreiras de segurança da instalação. Ao se avaliar as salvaguardas existentes, em termos de integridade e confiabilidade, pretende-se identificar se há aumento da probabilidade de ocorrência de possíveis eventos, buscando entender o risco associado à atividade e responder às seguintes questões:

- 1- O que pode dar errado?
- 2- Qual o dano que pode ser gerado?
- 3- Com que frequência isso pode acontecer?

De acordo com a compreensão dessas respostas, uma empresa pode decidir quais ações são necessárias para eliminar, reduzir ou controlar os riscos existentes em qualquer fase do ciclo de vida de uma instalação. Para responder o que pode dar errado, qual o dano possivelmente gerado e a frequência de ocorrência dos eventos, são utilizados estudos de riscos associados às instalações, os quais também serão usados para avaliar o nível de segurança do ativo de produção e, conseqüentemente, a sua permanência ou não em operação.

2 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho se justifica pela ausência de um método consolidado para avaliação da continuidade operacional de ativos maduros em unidades de exploração e produção de óleo e gás *offshore*, uma vez que não existe sistemática definida para avaliar a integridade e a confiabilidade destes ativos ao final de seu ciclo de vida; de forma que as operações possam ser mantidas em segurança, com o risco dentro da faixa esperada pela organização ou, então, de forma a identificar incremento de risco que inviabilize a continuidade operacional.

3 OBJETIVO

Proposição de método de avaliação da viabilidade de continuidade operacional baseada em risco através da utilização de diagrama *Bow Tie* (BTA – *Bow Tie Analysis*).

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 METODOLOGIA *BOW TIE*

O método *Bow Tie* consiste em uma técnica de avaliação de riscos que pode ser usada para analisar e demonstrar a relação causal em cenários de risco elevado. O método recebe este nome pois a forma do diagrama remete a uma gravata borboleta, que na língua inglesa recebe o nome de *Bow Tie*. O diagrama *Bow Tie* fornece, primeiramente, por meio de uma representação visual, um sumário de todos os cenários acidentais plausíveis sobre o perigo avaliado, e identifica medidas de controle deste perigo, mostrando o que deve ser feito para o efetivo controle dos cenários (SANKAR, 2016).

Figura 3 – Formato de gravata borboleta do diagrama *Bow Tie*.



Fonte: SNEDDON e SIMOES (2018).

Segundo SNEDDON e SIMOES (2018) e CCPS (2018), a origem exata da metodologia *Bow Tie* é um pouco nebulosa, mas é historicamente aceita que sua menção mais antiga tenha sido realizada em notas de curso de Análise de Perigos da Universidade de Queensland, na Austrália, em 1979, e que o *Bow Tie* foi utilizado inicialmente pela ICI (Imperial Chemical Industries).

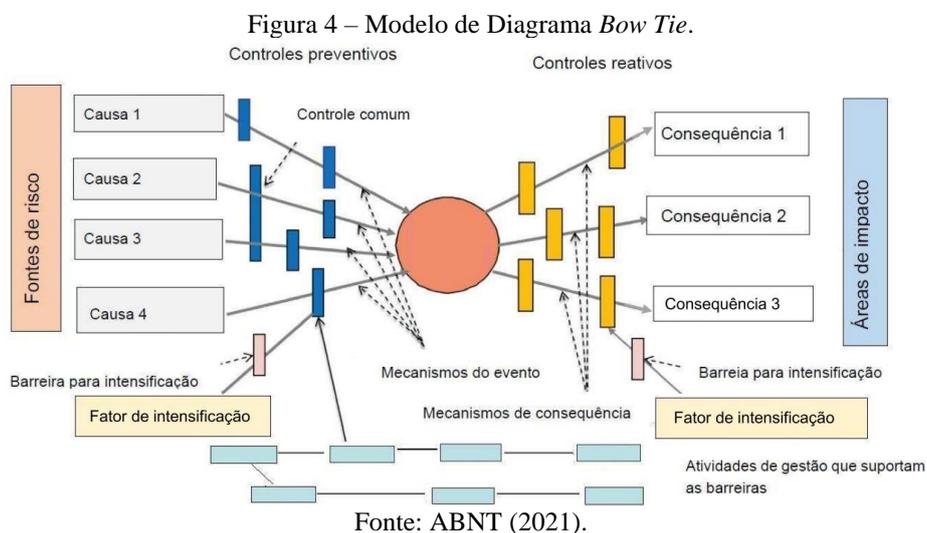
A técnica ganhou visibilidade no início dos anos 1990, quando a Royal Dutch/Shell Group a utilizou no estudo do desastre da plataforma de petróleo Piper Alpha, ocorrido em 1988 (SNEDDON e SIMOES, 2018).

A partir dessa década, a metodologia *Bow Tie* tem conquistado cada vez mais espaço no rol de técnicas de análise de riscos, em função, principalmente, de suas características visuais de fácil apresentação e entendimento. Além disso, o método apresenta várias outras vantagens, tais como:

- Formato esquemático simples de descrever e de analisar os caminhos de um cenário, desde a ameaça até as possíveis consequências;
- Possibilidade de contabilização de barreiras preventivas e mitigadoras;

- Boa representação gráfica do evento analisado, trazendo ganhos na comunicação e divulgação de cenários;
- Apoio no monitoramento da integridade e confiabilidade das barreiras;
- Auxílio nos processos de auditoria de barreiras e na investigação de acidentes.

De acordo com Freitas (2021), diagramas *Bow Tie* são normalmente utilizados para fornecer representações intuitivas e visuais, a fim de comunicar as causas e as consequências de riscos complexos. O método é caracterizado por um diagrama representativo que mostra como várias ameaças acidentais podem levar à materialização de um evento perigoso (perda de controle sobre um perigo) que, por sua vez, pode se desenvolver em um número de consequências indesejáveis, tais como fatalidades, incêndios, explosões, impactos ambientais, perdas patrimoniais, entre outros. O diagrama permite ainda a identificação e fácil visualização das barreiras de segurança, as quais objetivam prevenir ou mitigar os cenários acidentais, bem como os fatores que podem degradá-las ao longo do tempo, influenciando sua integridade e confiabilidade. O nome se deve à semelhança visual do diagrama com uma gravata borboleta (em inglês "*bow tie*") como representado na Figura 4 abaixo.



As duas principais entregas da metodologia *Bow Tie* consistem na avaliação e na comunicação dos riscos, mas também pode ser aplicada para beneficiar outros aspectos do sistema de gestão de segurança, saúde e meio ambiente das organizações, tais como gestão de barreiras de segurança, análise de acidentes e incidentes, auditorias de camadas de proteção, etc. (SANKAR, 2016).

4.1.1 Elementos que Compõem o Diagrama de *Bow Tie*

Segundo o CCPS (2018), um diagrama *Bow Tie* é composto pelos seguintes elementos:

- Perigo: é a operação, atividade, processo ou substância que tem o potencial de causar danos;
- Evento topo: é o momento no tempo em que o controle, relacionado ao perigo, é perdido;
- Ameaças: são as possíveis causas que, por si só, podem desencadear o evento topo;
- Consequências: são os resultados indesejados que podem se desenvolver a partir da materialização do evento topo.
- Barreiras preventivas: impedem que a ameaça ocorra ou bloqueiam seu caminho ao evento topo.
- Barreiras mitigadoras: impedem a ocorrência ou reduzem as consequências do evento topo;
- Fatores de degradação: causam o comprometimento da barreira preventiva ou mitigadora;
- Controle dos fatores de degradação: eliminam ou reduzem a probabilidade de que o fator de degradação comprometa a funcionalidade da barreira a que está associado, mantendo sua eficácia.

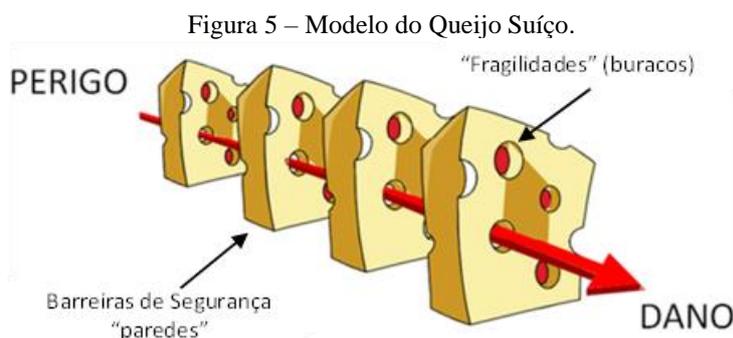
4.2 BARREIRAS DE SEGURANÇA

As barreiras de segurança, também chamadas de salvaguardas ou camadas de proteção, são definidas como quaisquer meios físicos ou não físicos empregados com o intuito de prevenir, controlar ou mitigar eventos indesejáveis, como acidentes, incidentes ou desvios. Tais meios podem incluir desde ações humanas, procedimentos escritos e equipamentos simples até sistemas de engenharia complexos com múltiplos componentes (SOUZA, 2016).

Sendo classificadas como preventivas ou mitigadoras, a depender do momento em que são chamadas a atuar, as barreiras de segurança são projetadas e implantadas a fim de garantir que os efeitos adversos de cenários acidentais não ocorram ou sejam os menores possíveis. Segundo o CCPS (2018), as barreiras preventivas são aquelas que visam reduzir a frequência esperada de ocorrência de cenários acidentais, enquanto as

barreiras mitigadoras visam minimizar as possíveis consequências decorrentes destes cenários. Na representação dos diagramas *Bow Tie*, as barreiras preventivas encontram-se dispostas do lado esquerdo do mapa, entre as ameaças e o evento topo; as barreiras mitigadoras, por sua vez, localizam-se do lado direito, entre o evento topo e as respectivas consequências.

A disposição destas camadas de proteção na metodologia *Bow Tie* foi baseada no famoso modelo do “queijo suíço” de James Reason, o qual propôs, em 2000, uma abordagem que visava explicar as razões para ocorrência dos acidentes nas organizações. Segundo Warner, Alves e Coates (2019), Reason enxergava as barreiras de proteção como “paredes” que tinham o objetivo de impedir a ocorrência de eventos indesejados (preventivas) ou minimizar os seus efeitos (mitigadoras). Tais barreiras eram representadas como fatias de queijo (não completamente sólidas), possuindo “furos” em sua estrutura, os quais reduziam a sua integridade e confiabilidade. Quanto maiores ou em maior número fossem os “furos” nas “fatias do queijo”, maiores eram as chances de ocorrer uma catástrofe. De acordo com as teorias de Reason, uma organização que visa garantir processos produtivos seguros e a sua perenização no mercado precisa gerenciar adequadamente as camadas de proteção associadas aos seus cenários acidentais, especialmente aqueles cujas consequências são consideradas catastróficas (com múltiplas fatalidades e perdas econômicas significativas). Abaixo pode-se observar uma figura ilustrativa do modelo do “queijo suíço” de James Reason, cuja teoria se aplica perfeitamente à metodologia *Bow Tie* em estudo.



Fonte: adaptado de REASON (1997).

A análise crítica e sistemática das referidas barreiras de segurança será fundamental para o objetivo deste artigo.

4.3 CONFIABILIDADE DE BARREIRAS DE SEGURANÇA

O termo confiabilidade é uma palavra que se aplica a diversos contextos e segmentos. Pode-se falar de confiabilidade humana, de negócios, de transações, de sistemas informatizados, produtivos e até de governos (apenas para citar algumas). No âmbito do que se pretende para o presente estudo, a confiabilidade está relacionada com a capacidade que um item, componente, equipamento, máquina ou sistema de engenharia tem de desempenhar a sua função requerida, de acordo com seu projeto, nas condições especificadas, em um intervalo de tempo específico. A confiabilidade, nestes termos, tem relação direta e inequívoca com a disponibilidade dos sistemas produtivos e com a rentabilidade dos negócios; razão pela qual, na grande maioria das organizações, muito se tem falado sobre a importância de se garantir altos índices de confiabilidade em instalações industriais e processos produtivos.

Segundo Dias (2019), a aplicação da confiabilidade de sistemas como item fundamental para a sustentabilidade operacional e para o gerenciamento de procedimentos de manutenção iniciou-se há pouco mais de 60 anos, nos segmentos industriais nuclear e aeroespacial europeu e americano. Na ocasião, diversas tecnologias e métodos de controle de processos foram sendo testados e implementados, até que se chegou ao que se conhece hoje como MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade (do inglês, RCM - *Reliability Centered Maintenance*). Esse enfoque do segmento de manutenção em confiabilidade foi tão bem-sucedido ao longo dos anos, trazendo ganhos significativos à continuidade operacional e à lucratividade, que as corporações resolveram expandir os seus conceitos para outras áreas, influenciando até mesmo a área de segurança operacional.

Dentro dessa temática de segurança operacional, Fogliato e Ribeiro (2011) afirmam que a análise de confiabilidade é essencial para a realização de estudos de riscos e de segurança consistentes e eficazes. Em uma análise de riscos, por exemplo, o levantamento das causas do evento iniciador é normalmente realizado usando-se técnicas de confiabilidade, a fim de definir a probabilidade de ocorrência de um determinado cenário acidental. Essa aplicação é perfeitamente cabível em estudos de riscos que utilizam as técnicas de Análise por Árvore de Falhas (AAF) e Análise por Árvores de Eventos (AAE), ambas utilizadas como insumos e consideradas como antecessoras da metodologia *Bow Tie*.

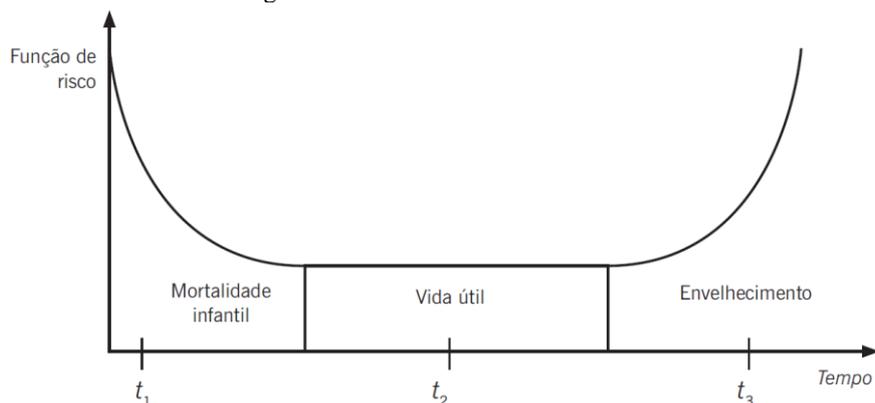
Ademais, quando se fala em confiabilidade de barreiras de segurança, as quais, como já dito, são compostas por itens, componentes, equipamentos e sistemas, é

importante que se analise o desempenho destas barreiras desde a sua concepção de projeto, perpassando pelo seu período operacional, até se chegar ao momento de descomissionamento (desativação). Essa análise tem como base dados disponibilizados pelos fabricantes, pelas equipes de engenharia, bem como por analistas de manutenibilidade. Bouças (2017) afirma que algumas variáveis são necessárias para que se tenha uma adequada medida da confiabilidade de componentes, a saber: taxa de falhas, tempo médio entre falhas, tempo médio até falhar e tempo médio para reparo; sendo a taxa de falhas a mais importante dentre elas.

Ainda segundo Bouças (2017), taxas de falhas, também conhecidas como taxas de risco, podem ser consideradas como a frequência em que as falhas ocorrem após um dado período de tempo (t_i), ou como a razão entre a probabilidade de um item falhar no instante t_i , considerando que ele operou até o instante t_i+t . Dessa forma, a taxa de falhas “é medida pelo número médio de falhas de um elemento de barreira ou sistema, em um intervalo de tempo especificado, podendo mudar dependendo da idade.”

No que diz respeito à idade dos componentes, a taxa de falhas varia consoante um gráfico conhecido como “curva da banheira”; nessa curva, o ciclo de vida do componente é dividido em 3 fases: i) fase inicial (ou mortalidade infantil, ou “*burn in*”), onde a taxa de falhas é alta, porém rapidamente decrescente. Essa fase é dominada por defeitos relacionados a erros de projeto, fabricação, aquisição, danos ocorridos durante a logística, além de erros de comissionamento e instalação; ii) fase operacional (vida útil ou “*constant-rate period*”), período mais extenso e com a menor taxa de falhas na vida do item, sendo esta considerada relativamente constante. Nesta fase, predominam os eventos de falhas aleatórias, geralmente de causas comuns e não relacionadas às condições inerentes do item; iii) fase final (envelhecimento, ou “*wear out period*”), período em que a taxa de falhas é crescente, dominada por falhas relacionadas ao desgaste esperado da unidade (Fogliato e Ribeiro, 2011). Um exemplo de gráfico “curva da banheira” pode ser visto na figura 6, abaixo.

Figura 6 – Gráfico Curva da banheira.



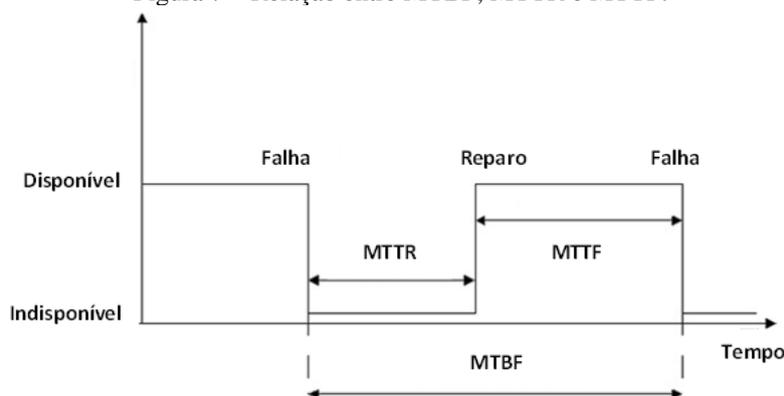
Fonte: Fogliato e Ribeiro (2011).

Vale ressaltar, ainda, as variáveis: tempo médio entre falhas, tempo médio para falhar e tempo médio para reparo, cujos conceitos, segundo Botta (2002), são:

- ✓ Tempo Médio Entre Falhas (**MTBF** – *Mean Time Between Failure*): indica o tempo médio de funcionamento correto de um sistema reparável, entre sucessivas falhas.
- ✓ Tempo Médio Para Falhar (**MTTF** – *Mean Time To Failure*): determina, em sistemas não reparáveis, o tempo médio, até a ocorrência da primeira falha.
- ✓ Tempo Médio Para Reparo (**MTTR** – *Mean Time To Repair*): especifica o grau de recuperação ou de conserto do sistema.

O gráfico abaixo demonstra de forma inteligível como as variáveis acima se interrelacionam:

Figura 7 – Relação entre MTBF, MTTR e MTTF.



4.4 CRITÉRIOS PARA LEVANTAMENTO DE CENÁRIOS ACIDENTAIS

Segundo a ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021), existem hoje cerca de quarenta e duas técnicas de análise de riscos aplicáveis às diversas indústrias

em operação no Brasil. Todas elas estão divididas em três macro-categorias: técnicas qualitativas (ou descritivas), que incluem APR, Hazop e a metodologia *Bow Tie*; técnicas semi-quantitativas, como a LOPA; e técnicas quantitativas, que incluem as análises de consequências e vulnerabilidade e a Análise Quantitativa de Risco(AQR).

O método *Bow Tie* de análise de riscos, apesar de estar elencado como técnica qualitativa de estudo, geralmente não é usado para identificar perigos e nem analisar todos os riscos de uma instalação; sua aplicação se dá, na maioria dos casos, no intuito de detalhar e comunicar riscos complexos, anteriormente analisados por meio de outras técnicas qualitativas.

Segundo Freitas (2021), a metodologia *Bow Tie* é mais indicada para cenários cujas consequências são classificadas como críticas ou catastróficas, os quais necessitam de uma maior comunicação de seus riscos e de uma visualização mais fácil para que suas salvaguardas sejam bem conhecidas e devidamente geridas. Estes cenários “maiores” são conhecidos como Acidentes de Grande Risco (ou MAH, do inglês *Major Accident Hazard*), os quais possuem alta severidade e são caracterizados pela mais alta magnitude de riscos. Geralmente, na indústria de óleo e gás, são considerados MAH os eventos com potencial para resultar em: múltiplas fatalidades, danos patrimoniais significativos (como perda de uma plataforma ou grandes interrupções de produção) e/ou impactos severos sobre o meio ambiente.

Essa definição de acidentes maiores é baseada em critérios de tolerabilidade, comumente definido pelas próprias organizações. Em alguns casos, existem legislações específicas que definem níveis de aceitabilidade para as indústrias de certos segmentos ou de certas regiões. Esse critério é conhecido como Matriz de Tolerabilidade de Riscos, ou simplesmente Matriz de Risco, onde informações de probabilidade/frequência dos cenários acidentais são relacionadas com a severidade/consequência destes cenários, resultando em 3 níveis de risco (Tolerável, Moderado e Não Tolerável), conforme pode ser visto na figura abaixo.

Figura 8 – Matriz de Riscos.

Severidade ←	Frequência →	A	B	C	D	E
		Extremamente Remota	Remota	Pouco Provável	Provável	Frequente
V Catastrófica		M	M	NT	NT	NT
IV Crítica		T	M	M	NT	NT
III Média		T	T	M	M	NT
II Marginal		T	T	T	M	M
I Desprezível		T	T	T	T	M

Fonte: adaptado de SOUZA (2016).

Uma vez que os riscos tenham sido classificados qualitativamente conforme a matriz, segue-se para o levantamento dos “cenários maiores” ou MAH, cujas consequências são classificadas com severidade crítica (IV), catastrófica (V) ou até média (III), com níveis de risco não toleráveis ou na região moderada limítrofe à não tolerável. Estes seriam os cenários elegíveis para a aplicação da metodologia *Bow Tie* de análise de riscos.

5 MÉTODO

Segundo Gil (1991), do ponto de vista de seus objetivos, a pesquisa pode ser exploratória, visando proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses, podendo envolver levantamento bibliográfico e análise de exemplos que estimulem a compreensão. Assume, em geral, as formas de Pesquisas Bibliográficas e Estudos de Caso.

Ainda segundo Gil (1991), a pesquisa bibliográfica é realizada quando é elaborada a partir de material já publicado, sendo constituída principalmente por livros, artigos de periódicos e com material disponibilizado na Internet.

Desta forma a presente pesquisa assume seu caráter de pesquisa bibliográfica exploratória, fazendo o levantamento conceitual sobre o tema em estudo e descrevendo exemplos de como a avaliação de barreiras pode ser utilizada para a avaliação de

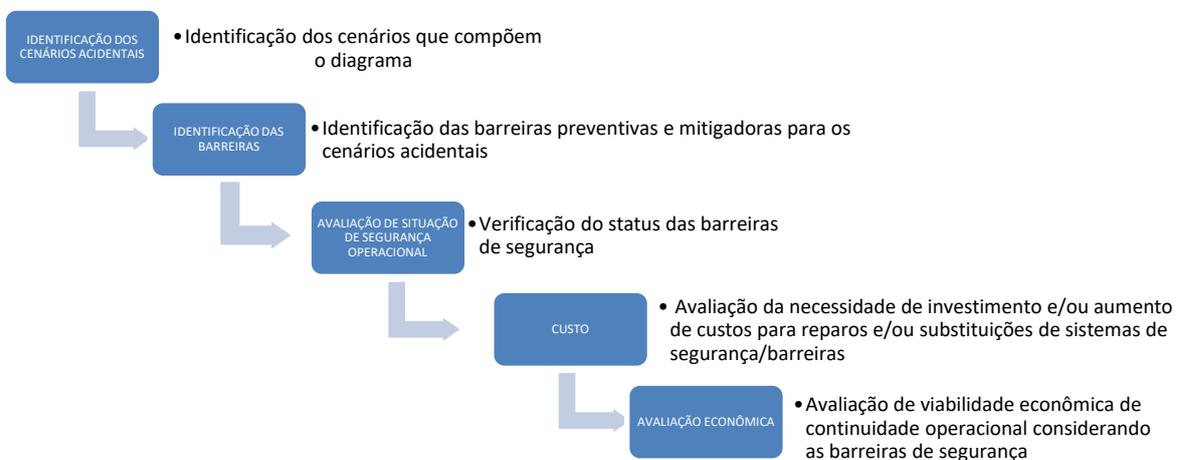
continuidade operacional de ativos maduros de forma a propor um *framework* para a solução do problema de pesquisa proposto.

6 DESENVOLVIMENTO

Para a avaliação futura de segurança operacional deve-se partir da condição atual e das estimativas e perspectivas futuras do estado da instalação como um todo, aliada à análise econômico-financeira desenvolvida para a situação identificada, de forma a indicar a viabilidade técnica e econômica para a mitigação dos fatores limitantes à continuidade operacional. Com base nisto, propõem-se que os elementos críticos de segurança operacional e os sistemas utilizados para contenção primária sejam identificados a fim de realizar as avaliações relacionadas à continuidade operacional, aos custos ou a proposição de parada da instalação para o início do processo de descomissionamento.

A figura abaixo representa de forma resumida o *framework* proposto.

Figura 9 – *Framework* proposto para a avaliação da viabilidade de continuidade operacional de ativos maduros.



6.1 IDENTIFICAÇÃO DE BARREIRAS

As barreiras são elementos que podem atuar tanto na redução da frequência de ocorrência de um evento indesejado (barreiras preventivas), como na redução da magnitude/extensão de eventuais consequências destes eventos (barreiras mitigadoras); portanto, quando elencadas, devem estar inseridas em todos os cenários acidentais oriundos dos estudos de risco da instalação. Os itens relativos a possíveis causas de

eventos acidentais como contenção primária (vasos, equipamentos e tubulações), assim como itens relacionados ao controle do processo e alarmes também devem ser identificados. As barreiras são então inseridas nos diagramas de *Bow Tie*, de modo que seja permitida uma representação gráfica dos possíveis cenários acidentais associados a um evento indesejado. Uma das vantagens do método, é possibilitar uma visualização mais direta das barreiras preventivas e mitigadoras., tendo como foco o diagnóstico da situação de integridade destas, facilitando o gerenciamento dos riscos e o controle adequado.

A seguir, são descritas, de forma sucinta, as barreiras normalmente adotadas para nas indústrias *offshore*.

6.1.1 Barreiras Preventivas

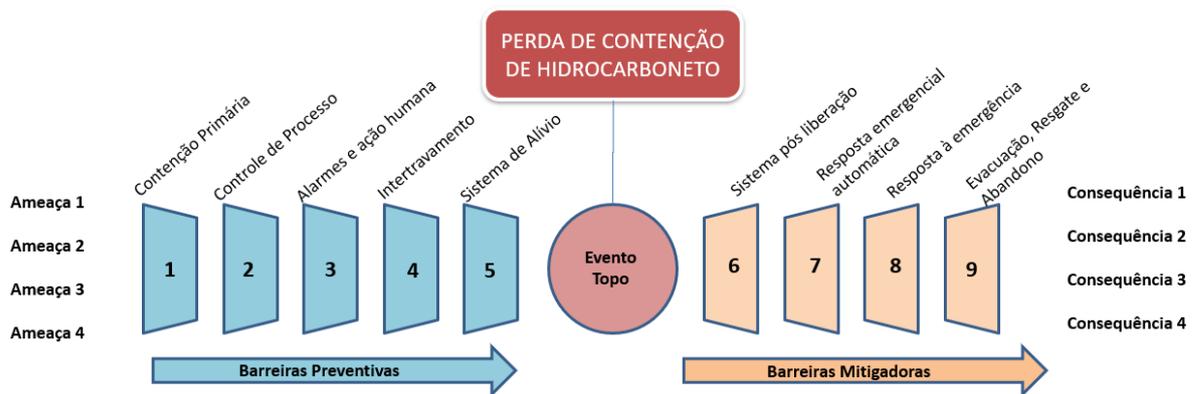
- 1 – Itens relacionados à contenção primária: vasos, linhas, permutadores, bombas e demais equipamentos;
- 2 – Itens relacionados ao controle automático do processo: elementos iniciadores de lógica, controladores lógicos programáveis e elementos finais de atuação, p.ex: malha de válvulas de controle de nível, malha de controle de de fluxo, etc;
- 3 – Alarmes que demandem a intervenção humana: sistema de supervisão e controle, assim como os alarmes de nível alto/baixo, temperatura alta/baixa, fluxo alto/baixo, pressão alta/baixa, etc.;
- 4 - Intertravamentos de Segurança: elementos iniciadores de lógica, controladores lógicos programáveis e elementos finais de atuação projetados para levar a planta para a condição segura caso haja desvios de variáveis de processo não controlados, que atinjam o *set* predeterminado. Exemplos: malhas de intertravamentos - chaves e instrumentos iniciadores de lógicas de parada segura das instalações como chaves de pressão alta, controladores lógicos programáveis e elementos finais de atuação, como válvulas de *shutdown*.
- 5 – Sistema de alívio: composto pelos sistemas de alívio e despressurização dos equipamentos, p.ex: válvulas de segurança, pinos de ruptura, discos de ruptura e sistemas de *vent* e *flare*.

6.1.2 Barreiras Mitigadoras

- 1 – Sistema de proteção pós liberação: Fazem parte deste sistema o conjunto de equipamentos utilizado para detectar e mitigar consequências relacionadas a eventos de perdas de contenção, p.ex: diques de contenção, sistema de detecção de fogo e gás.
- 2 – Resposta emergencial automática da planta: ações automáticas e manobras operacionais que mitigam e limitam as consequências do cenário de perda de contenção primária, p.ex: isolamento e despressurização da planta de processo.
- 3 – Resposta à emergência da instalação: Primeiras ações de resposta, conforme plano de resposta a emergência, p.ex: Sistema de combate a incêndio por água, CO2, etc.
- 4 – Evacuação, resgate e abandono: Ações relacionadas ao abandono da instalação, ex.: Recursos de salvatagem, evacuação/resgate e abandono.

Figura 10 – Exemplo de diagrama *Bow Tie* consolidado.

BOWTIE: Sistema de produção X



6.2 AVALIAÇÃO DE SITUAÇÃO DE SEGURANÇA OPERACIONAL

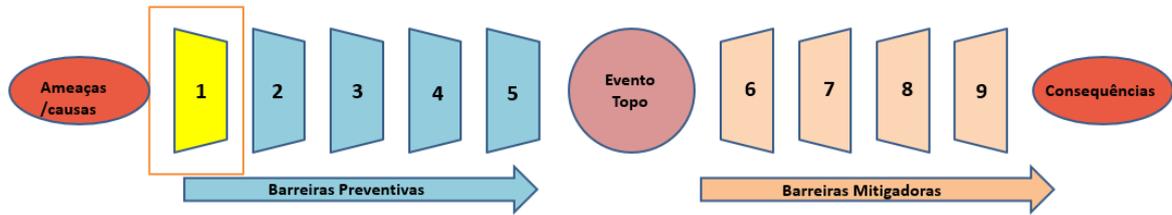
Após a identificação das barreiras, estas são inseridas nos diagramas de *Bow Tie* de cada sistema de produção avaliado de forma a representar a situação de cada sistema.

Na sequência, cada barreira é avaliada pelos especialistas que devem identificar se existe histórico de manutenções corretivas de forma a avaliar a confiabilidade da barreira. Além disso, se existem itens que devem ser realizados de forma a reestabelecer a confiabilidade da barreira.

Segue, na figura abaixo, exemplo de avaliação da Barreira 1 de um sistema de produção.

Figura 11 – Exemplo de diagrama *Bow Tie* com avaliação do status da Barreira 1.

BOWTIE: Sistema de produção X



Avaliação da barreira 1

Barreira	Elemento	Situação
1	Tubulação X	Inspecionada sem recomendação no prazo
1	Tubulação Y	Inspecionada com recomendação no prazo
1	Tubulação Z	Inspecionada sem recomendação no prazo
1	Vaso X	Inspecionada sem recomendação no prazo
1	Vaso Y	Inspecionada sem recomendação no prazo

No exemplo acima, como a tubulação Y possui recomendação, mesmo dentro do prazo, esta barreira não é considerada íntegra e, em conjunto com a das demais barreiras, deve ser levada para a etapa de avaliação dos custos.

Após a avaliação de todas as barreiras, estas são consolidadas por sistema de produção e respectivo *status* da barreira. A barreira é considerada íntegra (condição operacional normal) quando não é evidenciada nenhuma necessidade de intervenção para recomposição de sua integridade ou confiabilidade. A barreira é considerada como operacional (com necessidade de intervenção) quando sua função de segurança é mantida, porém existe a necessidade de realização de algum reparo. A barreira considerada como não íntegra (com necessidade de intervenção) é a que necessita de reparo para reestabelecimento de sua confiabilidade e ou sua função de segurança.

Na figura abaixo, é apresentado exemplo de sistema com as 4 primeiras barreiras consideradas como não íntegras.

Figura 12 – Exemplo de diagrama *Bow Tie* com a avaliação de todas as barreiras de um sistema de produção.



Avaliação das barreiras do sistema X

Barreira	Elemento	Situação
1	Tubulação Y	Inspeccionada com recomendação fora do prazo/vencida
2	Válvula de controle X	Válvula em falha, com necessidade de substituição
3	Pressostato Y	Pressostato em falha, com necessidade de substituição
4	Válvula de isolamento X	Válvula em falha, com necessidade de substituição

Legenda:

-  Barreira íntegra – condição operacional normal
-  Barreira operacional - com necessidade de intervenção
-  Barreira não íntegra - com necessidade de intervenção

6.3 CUSTO

Após a avaliação das barreiras por especialistas, são estimados, através dos fatores de degradação e dos controles dos fatores de degradação, os custos para reparo e/ou substituição de cada barreira cuja integridade encontra-se comprometida, de forma a serem incorporados na avaliação econômica. Além disso, a estimativa de tempo de unidade parada para a realização dos reparos/substituições das barreiras também é realizada nesta etapa e sendo considerada como fator contribuinte, é então contabilizada nos custos envolvidos.

Dessa forma, os custos para reparo e substituição de barreira degradada são obtidos da seguinte equação:

Custo = Custo da barreira + Custo do reparo/substituição + Tempo da instalação parada para o reparo

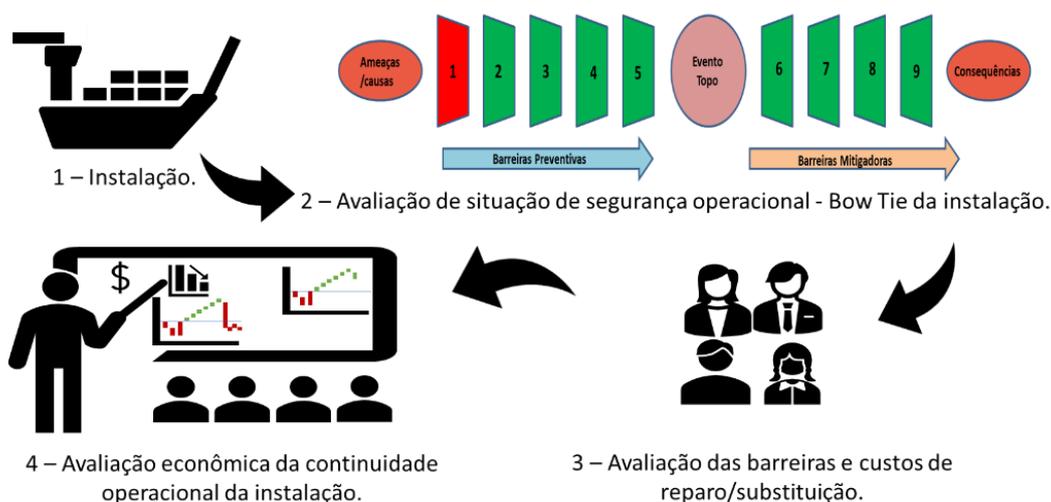
6.4 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Os custos calculados na etapa anterior são inseridos no modelo de avaliação de viabilidade econômica do projeto, sendo possível a avaliação da viabilidade da continuidade operacional: se o valor presente líquido for positivo, a continuidade operacional se mostra a melhor opção; caso seja negativo, deve ser recomendado o processo de descomissionamento da instalação.

Portanto, após a avaliação da instalação, através de diagrama *Bow Tie*, e a avaliação pelos especialistas das barreiras que apresentam possíveis vulnerabilidades, são avaliados os custos para que as mesmas sejam mantidas íntegras dentro das expectativas de projeto da instalação, de modo a manter o nível de risco presumido do projeto. Com base na avaliação dos custos, é realizada a avaliação econômico-financeira da continuidade operacional de instalação. Neste cálculo, são considerados os valores/custos para reparo/manutenção/substituição de barreiras, assim como lucros operacionais não realizados, como exemplo, o período em que a instalação permanecer parada, sem produzir, em virtude das intervenções necessárias. Ao se avaliar o custo frente ao benefício financeiro da operação, pode-se decidir pela continuidade operacional ou pelo descomissionamento da instalação.

Na figura abaixo é apresentado o exemplo de um navio plataforma. Após a avaliação por meio do método de *Bow Tie*, foi identificado que a Barreira 1 (contenção primária - o casco da plataforma onde é armazenado o óleo produzido) apresentou baixa espessura, degradando-se. Com base nessa informação, após a análise do grupo de especialistas, chegou-se à conclusão sobre o tipo de intervenção necessária para o reparo da barreira, assim como o tempo de reparo. Essas variáveis, quando inseridas na avaliação econômico-financeira da instalação, forneceram as informações que os gestores necessitavam para a decisão quanto à viabilidade da continuidade operacional do ativo ou à recomendação para descomissionamento do mesmo.

Figura 13 – Fluxo simplificado de avaliação de continuidade operacional de ativos maduros.



7 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Com a gestão de segurança de processo baseada em risco, a qualquer momento do ciclo de vida de uma instalação, pode-se verificar a situação de segurança operacional, observando-se o *status* das barreiras de segurança. Já com o intuito de avaliação da extensão de vida útil de um projeto, este processo pode ser realizado para compor a avaliação financeira do projeto, agregando-se a esta avaliação a análise de segurança, através da verificação de integridade e confiabilidade das barreiras de segurança presentes. Essa avaliação é relevante pois, com o passar do tempo, os sistemas de proteção, além de demandarem a manutenção de sua integridade, passam a requerer mais recursos para reparos, testes e/ou substituições. Estes recursos devem ser computados nos cálculos de viabilidade econômica da instalação, de modo que, a depender da intervenção necessária, pode-se decretar o fim da operação de uma instalação de produção *offshore*, devendo esta passar para a fase de descomissionamento.

A metodologia de *Bow Tie* se mostrou uma técnica simples e eficaz para suportar essa avaliação econômico-financeira, uma vez que possibilita a identificação e avaliação das barreiras, levando em conta a sua condição atual (íntegra, operacional ou não íntegra). A vantagem de se utilizar a metodologia de *Bow Tie* é poder ter uma visualização dinâmica da condição dos sistemas de proteção, acompanhando os riscos envolvidos ao se operar com uma ou mais barreiras de segurança não íntegras.

A realização da avaliação econômico-financeira, suportada pela utilização de uma metodologia de avaliação de riscos, traz a informação de até onde se pode operar de maneira segura, levando em conta o gasto que será gerado para que as barreiras de segurança se mantenham, no mínimo, operacionais.

Dessa forma, fica claro que a avaliação econômico-financeira utilizando métodos de gestão baseada em risco se mostra como uma estratégia eficaz para uma avaliação de continuidade operacional de ativos maduros. Não se pode apenas operar. É imprescindível operar com segurança.

Como aprofundamento da pesquisa realizada no tema, sugere-se a realização de pesquisa para definição de método que possibilite a integração e a realização da avaliação dinâmica de barreiras de forma contínua, de modo a informar aos gestores, responsáveis pela tomada de decisão, o *status* das barreiras de segurança assim que os desvios são identificados em campo.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR IEC 31010: Gestão de riscos - Técnicas para o processo de avaliação de riscos**. Rio de Janeiro, 2021

ARICI, SEHER SUENDAM; AKYUZ, EMRE ; ARSLAN, OZCAN. **Application of fuzzy bow-tie risk analysis to maritime transportation: The case of ship collision during the STS operation**. Ocean Engineering, v. 217, n. 217, p. 107960, 2020.

CCPS. **Bow ties in risk management: a concept book for process safety**, New York: Wiley-AIChE, 2018.

_____. **Guidelines for Hazard Evaluation Procedures**. New York: Wiley-AIChE, American Institute of Chemical Engineers, 3 ed, 2008.

_____. **Guidelines for Implementing Process Safety Management**. New York: Wiley-AIChE, American Institute of Chemical Engineers, 2 ed, 2016.

_____. **Guidelines for Investigating Process Safety Incidents**. New York: Wiley-AIChE, American Institute of Chemical Engineers, 2 ed, 2003.

_____. **Guidelines for Investigating Process Safety Incidents**. New York: Wiley-AIChE, American Institute of Chemical Engineers, 3 ed, 2019.

_____. **Guidelines for Risk Based Process Safety**. New York: Wiley-AIChE, American Institute of Chemical Engineers, 1 ed, 2007.

_____. **Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety**. New York: Wiley-AIChE, American Institute of Chemical Engineers, 1 ed, 1989.

_____. **Introduction to Process Safety for Undergraduates and Engineers**. New York: Wiley-AIChE, American Institute of Chemical Engineers, 1 ed, 2016.

GIL, ANTONIO CARLOS. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

DIAS, ACIRES. **Confiabilidade na manutenção industrial**. [s.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <<http://200.19.248.10:8002/professores/debarbajr/02.Manuten%C3%A7%C3%A3o%20Industrial/09.Confiabilidade%20na%20manuten%C3%A7%C3%A3o%20industrial%20-%20curva%20da%20banheira.pdf>>. Acesso em: 7 Mar. 2022.

FOGIATTO, FLAVIO SANSON; RIBEIRO, JOSÉ LUIS DUARTE, **Confiabilidade e Manutenção Industrial**, ELSEVIER, ABEPRO, CAMPUS, 2011.

FREITAS, FELIPE SOARES. **ANÁLISE DE RISCO UTILIZANDO DIAGRAMAS BOW TIE PARA PREVENÇÃO DE FALHAS ESTRUTURAIS EM NAVIOS PLATAFORMA (FPSO)**. [s.l.: s.n.], 2021. Disponível em: <<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10032792.pdf>>.

GIMENES, FELIPE AUGUSTO GOMIDES PEREIRA, **Sistema de gestão de segurança de process baseado em risco e proteção ambiental**, Iff.edu.br, 2015. Disponível em: < <http://bd.centro.iff.edu.br/jspui/handle/123456789/2212>>.

GOERLANDT, FLORIS; LI, JIE; RENIERS, GENSERIK; *et al.* **Safety science: A bibliographic synopsis of publications in 2020**. Safety Science, v. 139, n. 139, p. 105242, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925753521000874>>. Acesso em: 7 Jan. 2022.

KHALIDOV, IBRAGIM; MILOVIDOV, KONSTANTIN ; SOLTAKHANOV, ANZOR. **Decommissioning of oil and gas assets: industrial and environmental security management, international experience and Russian practice**. Heliyon, v. 7, n. 7, p. e07646, 2021.

LABIB, ASHRAF. **Towards a new approach for managing pandemics: Hybrid resilience and bowtie modelling**. Safety Science, v. 139, n. 139, p. 105274, 2021.

LI, YIHONG; HU, ZHIQIANG. **A review of multi-attributes decision-making models for offshore oil and gas facilities decommissioning**. Journal of Ocean Engineering and Science, 2021.

LI, YULING; GULDENMUND, FRANK W.; ANEZIRIS, OLGA N. **Delivery systems: A systematic approach for barrier management**. Safety Science, v. 121, n. 121, 2017.

LIU, YILIU. **Safety Barriers: Research Advances and New Thoughts on Theory, Engineering and Management**. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 67, no. 67, 1 Sept. 2020, p. 104260.

MELCHERS, R.E. **On the ALARP approach to risk management**. Reliability Engineering & System Safety, v. 71, n. 2, p. 201–208, 2001.

MIRANDA, MARCELO ACCORSI; BRICK, E. S. **Análise de custo de vida útil de sistemas, aplicado a plataformas de petróleo**. XXXV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), Natal, RN, Brasil, 2003.

REASON, JAMES, **Managing the risks of organizational accidents**, Aldershot, Hants, England ; Brookfield, Vt., Usa: Ashgate, 1997.

REINO UNIDO. **Oil and Gas Decommissioning Insight**, 2014. Disponível em: < <https://cld.bz/bookdata/3FgHj6r/basic-html/index.html#18>>

SANKAR, VIVEK *et al.*, **Application of Bow-Tie Analysis in Risk Management**, IJSRD -International Journal for Scientific Research & Development, v. 4, n. 09, p. 2321-0613, 2016.

SCHOFIELD, STAN. **Offshore QRA and the ALARP principle**. Reliability Engineering & System Safety, v. 61, n. 1-2, p. 31–37, 1998.

SILVESTRE, BRUNO S.; GIMENES, FELIPE AUGUSTO P. ; E SILVA NETO, ROMEU, **A sustainability paradox? Sustainable operations in the offshore oil and**

gas industry: The case of Petrobras, Journal of Cleaner Production, v. 142, n. 142, p. 360–370, 2016.

SNEDDON, JAMES; SIMOES, VINICIUS. **Practical Application of Bowties Analysis; Enhancing Traditional PHA**. 2018 Spring Meeting and 14th Global Congress on Process Safety. AIChE, 2018.

SILVA, EDNA LÚCIA; MENEZES, ESTERA M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação** 3. ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SOUZA, ANDRÉ LUIZ LOUREIRO PEYNEAU DE. **Estudo Qualitativo de Riscos Aplicado a Empreendimentos Terrestres de Óleo e Gás Em Áreas Remotas**. Universidade Federal Fluminense - Escola De Engenharia - Departamento de Engenharia Química e de Petróleo [s.l.: s.n.], 2016. Disponível em:

VILLADSEN, Bente; VILBERT, Michael J.; HARRIS, Dan; *et al.* **Chapter 5 - Discounted Cash Flow Models**. ScienceDirect. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128125878000058>>. Acesso em: 7 Jan. 2022.

WARNER, JEROEN; ALVES, ELIZABETH NUNES; COATES, ROBERT. **SWISS CHEESE IN BRAZIL: DISASTER CULTURE AND SAFETY CULTURE IN DISASTERS**. Ambiente & Sociedade, v. 22, 2019.

ZURHEIDE, FRANK T.; HERMANN, ECKEHARD; LAMPESBERGER, Harald. **pyBNBowTie: Python library for Bow-Tie Analysis based on Bayesian Networks**. Procedia Computer Science, v. 180, n. 180, p. 344–351, 2021.