

Pós-Graduação

Segurança de Processos



Uso de Ferramenta de Gestão de Barreiras na Investigação de Incidente de Segurança de Processos

Ana L. C. P. de Mello, Dominiki M. Thomaz, Geovana de P. Garcia, Leonardo P. da Silva, Nicolas R. Pedrosa

RESUMO

A gestão da integridade das barreiras, salvaguardas em sistemas de segurança de processo, é um fator crítico no gerenciamento de segurança de processo e complementar às análises de risco. Não obstante, tem a intenção de não só garantir condições seguras de operação na unidade de produção, mas também melhorar a gestão de risco de um processo existente. É essencial a utilização de ferramentas de análises de risco (APR, HAZOP, What if, HAZAN, LOPA etc.) combinadas a ferramentas de gestão de integridade de barreiras como: Bow Tie, Árvore de falhas, Correntes de Markov, dentre outros métodos para a construção de uma gestão robusta, que identifica, analisa e trata os cenários críticos de planta industrial. Em particular, para a gestão dinâmica das barreiras, ou seja, a avaliação da sua integridade ao longo do tempo, é de suma importância ter um sistema de monitoramento das ações de manutenção preventivas e corretivas, e assim mantê-las confiáveis e disponíveis, e um sistema de inibição de elementos críticos sólido. O Bow Tie mostra-se o método mais simples e objetivo por ser um método visual que permite a rápida visualização dos elementos do sistema e os cenários decorrentes das análises de risco tomadas como base, e com isso se torna uma ferramenta muito utilizada na construção do sistema de gestão de barreiras de cenários acidentais críticos.

O objetivo deste trabalho é propor a avaliação e melhoria da gestão de barreiras presente em uma planta de processo a partir de um evento acidental. Tal análise visa verificar quais barreiras falharam, avaliar seu nível de integridade e como tais fatores ocasionaram os sinistros ocorridos, complementando o relatório de investigação de incidentes. Para este estudo, elegeu-se o acidente ocorrido na área de armazenamento de produtos químicos da plataforma P-20, ocorrido em dezembro de 2013, operada pela Petrobras. A metodologia para o desenvolvimento deste trabalho consiste na elaboração de um Bow Tie, a partir da análise de risco do evento acidental. Neste estudo utilizaremos como ferramenta para análise a APR.

Palavras-chave: gestão de barreiras, bow-tie, gestão de risco, segurança de processos.

ABSTRACT

The strategy of barrier integrity management is a key factor in process safety management and complements the risk analysis of an industrial plant. However, it has the intention of guaranteeing safety conditions in the operation of process units, but also to improve risk management of an existing process. For that, it is essential the usage of risk analysis tools (such as APP, HAZOP, What If, HAZAN, LOPA) combined with safety integrity barriers, such as: Bow Tie, fail tree analysis, Markov chains and any other methods aiming for a robust management system. In particular, for a dynamic barrier management, which is the integrity evaluation during the time, it is essential to own robust critical elements inhibition systems and maintenance monitoring systems

(corrective and predictive). Bow-Tie appears to be the simpler method for that, mainly because it is clear and visual, allowing the quick visualization of the safety elements of a system but also the original scenarios coming from the installation risk analysis. The aim of the present work is to propose an evaluation and improvement of safety barrier management of a process plant based on an accidental event. The analysis aims to identify which of the safety barriers failed during the accident, evaluate their integrity level and how these factors occasioned the event. For that, the chosen event was the accidental fire in Petrobras P-20 platform which occurred in 2013 in the chemical products tanks at Campos Basin, Rio de Janeiro. The chosen method for developing this work was the Bow Tie tool, based on a risk analysis prepared by the authors focused on the above mentioned accident.

Keywords: *barrier management, bow-tie, risk management, process safety*

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, cada vez mais é discutido e é colocado em foco questões relativas à segurança de processos em instalações industriais. No entanto, se por um lado os acidentes ocupacionais têm caído significativamente com o passar dos anos (IOGP, 2015), os acidentes de segurança de processo, por outro lado, não apresentaram decaimento nos últimos 30 anos (Marsh, 2020).

Acidentes recentes como o grande derramamento de óleo e explosão da plataforma Deepwater Horizon no campo de Macondo em 2010, a liberação acidental de metil mercaptano em uma unidade produtora de inseticidas na cidade de La Porte no estado americano do Texas em 2014, a explosão ocorrida no FPSO Cidade São Mateus em 2015 que deixou 9 mortos na costa do Espírito Santo (ANP, 2015), o rompimento da barragem em Brumadinho-MG em 2019 (considerado uma das maiores tragédias ambientais do Brasil) e outras ocorrências acidentais reforçam a necessidade constante de investimentos na área de segurança de processos, em praticamente todo o tipo de indústria.

Baseado nessa concepção de importância dos conceitos de segurança de processos e na continuidade da frequência de ocorrência desses tipos de acidente na indústria, as empresas têm buscado formas de aprimorar os seus sistemas de gestão de modo a enfrentar essa realidade. Uma forma de administrar os riscos em segurança de processos consiste na estruturação de uma Gestão de Barreiras de Segurança de Processos, a qual é uma estratégia de gestão focada em visualizar e acompanhar o estado atual das barreiras de segurança e seus controles de fatores de degradação e disponibilidade. Com isso, busca-se entender e contornar algo inevitável em uma instalação de processos: a deterioração de barreiras físicas e de gestão projetadas

inicialmente para atuar adequadamente reduzindo a frequência ou gravidade de incidentes na indústria (CCPS, 2018).

Certas ferramentas de apoio são utilizadas com frequência pela indústria, cuja concepção é baseada nos conceitos apresentados acima, com o intuito gerenciar de forma mais simples e prática os riscos de segurança de processos. Exemplos de algumas dessas ferramentas são o Diagrama de James Reason proposto em 1990, as redes de Bayes, redes de Petri e o famoso diagrama *Bow Tie*. Este último tem se tornado popular em empresas de alto risco como mineração, óleo e gás e aviação (DE RUIJTER; GULDENMUND, 2016), por apresentar de modo simples e gráfico o estado das barreiras e seus controles de fatores de degradação.

Baseado nos conceitos apresentados, o presente trabalho visa utilizar aprendizados provenientes de um acidente de segurança de processos e associá-los a ferramentas de gestão de barreiras de segurança de processos, buscando identificar como aprimorar estes modelos. O acidente selecionado para o estudo foi um evento em que ocorreu degradação significativa de barreiras de segurança de processos, o qual foi a explosão e incêndio do tanque de etanol ocorrido na plataforma P-20 da Petrobras em dezembro de 2013 na Bacia de Campos, Rio de Janeiro (ANP, 2018).

Como resultado deste trabalho busca-se entender como os aprendizados baseados em acidentes podem aprimorar a gestão de barreiras de segurança de processo e em quais ferramentas tais aprendizados podem ser melhor apropriados, além de ilustrar como essa ferramenta de gestão de segurança de processos poderia ter reduzido os danos causados pelo acidente.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Gestão de Barreiras através do BowTie

As análises de *Bow tie* não são análises de perigos e riscos e sim uma ferramenta para gestão de integridade de barreiras de segurança de processos. Um diagrama *Bow tie* pode ser usado como ferramenta gráfica de visualização da integridade das barreiras, sendo este diagrama composto por um evento topo, um perigo, ameaças, consequências, barreiras, fatores e controles de degradação destas barreiras.

Neste trabalho, o foco é analisar um evento ocorrido na indústria offshore, especificamente o acidente de incêndio ocorrido na plataforma de produção de óleo e gás P-20 em 2013, com objetivo de analisar as barreiras que falharam e as barreiras que não foram implementadas durante a execução do projeto.

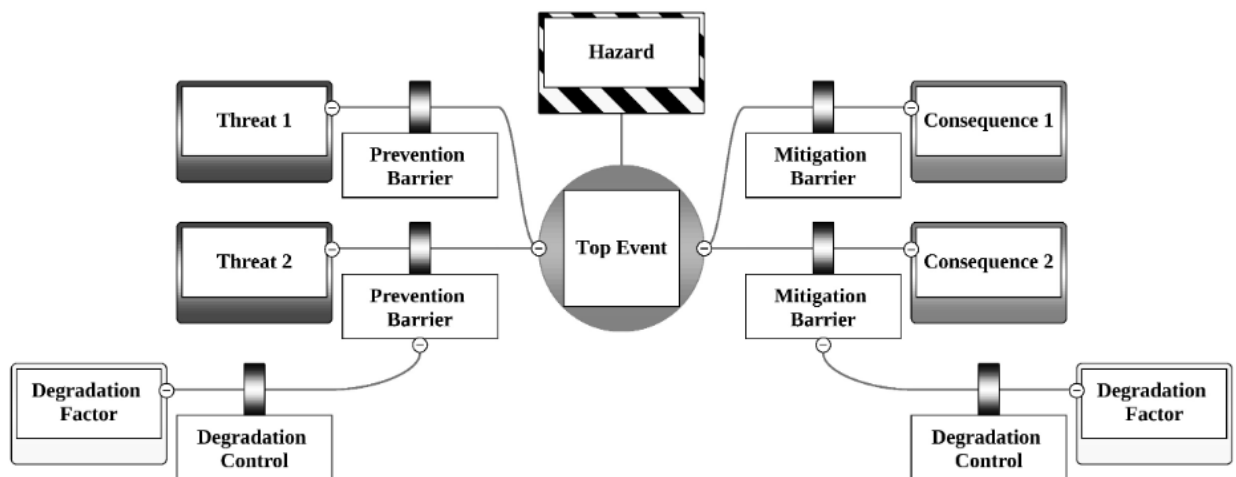
Conforme definido no livro *Bow Ties in Risk Management*, organizado pela CCPS (2018), “a análise de risco baseada em barreiras tem sido aplicada aos riscos de segurança de processo por mais de duas décadas e cada vez mais frequente através do uso do diagrama Bow tie. A Análise de barreiras Bow tie concentra-se na avaliação de barreiras para a prevenção e mitigação de um incidente, especialmente relacionado a acidentes graves. Os diagramas Bow tie examinam possíveis acidentes graves mapeando diagramaticamente os perigos e ameaças que podem levar a um evento e as possíveis consequências indesejadas, incluindo, o mais importante, todas as barreiras e controles de degradação implementados para reduzir o risco. Os diagramas Bow Tie podem ajudar no gerenciamento de barreiras, na análise da redução de riscos e na avaliação das barreiras existentes. Além de fornecer um meio poderoso de comunicar informações complexas de segurança de processo a funcionários, contratados, reguladores, alta administração, público e outras partes interessadas.”

Ainda na mesma obra, é descrito que após todas as barreiras e controles de degradações terem sido identificados, um programa de gerenciamento é requerido para garantir que as barreiras são mantidas com a eficácia especificada e que os controles de degradação são robustos conforme eles razoavelmente possam ser. A identificação de elementos e sistemas críticos para a segurança podem ajudar a estabelecer os padrões de performance. Os *bow ties* podem identificar tarefas críticas e ligar estas com os requisitos potenciais em procedimentos e controles administrativos, e a fim de requerer treinamentos e desenvolvimento dos funcionários.

Também com base na mesma obra de CCPS (2018), a Figura 1 abaixo apresenta um modelo de *Bow tie* que, consiste de oito fatores básicos, sendo eles: (1) perigo, (2) evento topo, (3) consequências, (4) ameaça, (5) barreiras preventivas, (6) barreiras mitigadoras, (7) elementos constituintes de cada barreira, (8) fatores de degradação e (9) controle de degradação.

O evento topo ocorre no momento em que os controles dos perigos são perdidos. As consequências do lado direito são resultados indesejados que o evento topo pode acarretar. As ameaças à esquerda, são as possíveis causas que podem desencadear o evento principal. As barreiras do lado esquerdo, chamadas de barreiras preventivas, tem a capacidade de prevenir a ocorrência do perigo real, ou para o perigo real impedindo sua escala para um evento topo. Já as barreiras do lado direito, chamadas barreiras mitigadoras, são de suma importância para mitigar os efeitos das possíveis consequências, geradas pela ocorrência do evento (Ibid., 2018).

Figura 1: Modelo de Gerenciamento Bowtie (CCPS, 2018)



2.2. Gestão dinâmica de barreiras

Para a definição de barreiras como camadas de proteção utilizou-se como base a metodologia para identificação de IPL (camada de proteção independente) e salvaguarda empregada no LOPA. Segundo o livro *Análise de Camada de Proteção, Avaliação simplificada do risco de processo* (CCPS, 2021), salvaguarda é qualquer dispositivo, sistema ou ação que provavelmente interrompa a cadeia de eventos após um evento iniciador. No entanto, a eficácia de algumas salvaguardas não pode ser quantificada devido à falta de dados, incerteza quanto à independência ou eficácia, entre outros fatores.

Sendo exatamente a possibilidade de quantificar a probabilidade de falha na demanda que diferencia uma IPL de uma salvaguarda, pois toda IPL é uma salvaguarda, mas nem toda salvaguarda é uma IPL (Ibid., 2021).

No presente trabalho, não será explorado a quantificação da falha na demanda das salvaguardas, por conseguinte não serão identificadas e gerenciadas as salvaguardas classificadas como IPL. Este estudo tem como foco propor um diagrama *Bow Tie* para a gestão de barreiras, e utilizá-lo como suporte para monitoramento do fator de degradação das barreiras, adequação e disponibilidade das salvaguardas presentes no sistema estudado.

Diferente da metodologia do LOPA, neste trabalho serão considerados os procedimentos operacionais e planos de emergência como barreiras de segurança, sendo possível avaliar a adequação, aderência junto a equipe de trabalho, treinamento nos mesmos, controle de revisão, dentre outros fatores (Ibid., 2021). Essa prática é adotada pelo grupo de trabalho, uma vez que, uma das causas-raiz do evento acidental na P-20 é a fragilidade do procedimento de controle de trabalho a quente (ANP, 2018).

Segundo o livro *Decisões desastrosas: as causas humanas e organizacionais do desastre do Golfo do México* (HOPKINS, 2022), a prevenção de acidentes graves depende de uma defesa em profundidade, ou seja, de uma série de barreiras para manter os riscos sob controle. No entanto, existe um significado mais geral da palavra "barreira" e mais amplamente utilizado, que inclui barreiras não físicas, como treinamentos, procedimentos, testes e controles de engenharia.

Uma vez que a unidade industrial possui um gerenciamento de barreiras, que parte do conceito de definição de elemento crítico por meio dos estudos de risco, consolidado e monitorado em tempo real, ou seja em consonância com o sistema de gestão de manutenção, torna-se possível avaliar e aprimorar a gestão de barreiras após um evento acidental com maior eficácia, como é proposto neste trabalho, o incremento do relatório de investigação de incidentes com a elaboração de um *Bow Tie*, para o mapeamento da situação e disponibilidade dos principais dispositivos de segurança momentos antes do acidente (Ibid., 2022).

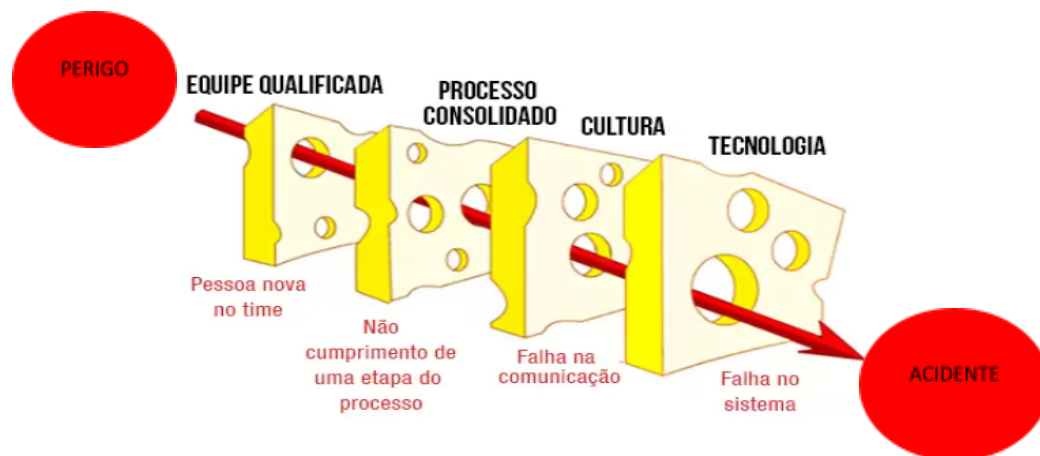
Ao longo do tempo, alguns modelos de ferramenta de gestão de barreiras surgiram com o objetivo de auxiliar nessa atividade de gestão, facilitando o controle e monitoramento das barreiras contidas em um sistema pré-definido (Ibid., 2022).

Após estudar causas de vários desastres, o modelo do “queijo suíço” foi originalmente proposto por James T. Reason em 1990 e desde então ganhou ampla aceitação. Este

modelo é, na realidade, muito utilizado em análise e gerenciamento de risco. Entretanto, se faz muito útil também para auxiliar na gestão de barreiras protetivas de um sistema.

No modelo do queijo suíço, as defesas de uma organização contra um evento são modeladas como uma série de barreiras, representadas como fatias de queijo, especificamente queijo suíço com buracos. Os orifícios nas fatias representam pontos fracos em partes individuais do sistema e variam continuamente em tamanho e posição nas fatias. O sistema produz falhas quando um furo em cada fatia se alinha momentaneamente, permitindo uma trajetória de oportunidade de acidente, de forma que um perigo passe por furos em todas as fatias, levando a uma falha.

Figura 2. Modelo de barreiras proposto por James Reason



2.3. Evento acidental na P-20

A P-20 é uma unidade flutuante de produção em operação desde 1992 pela Petrobras, em 2013, no dia 26 de dezembro ocorreu um incidente classificado como incêndio maior, reportado à ANP, desta forma, abaixo um breve resumo dos eventos que culminaram neste incidente (ANP, 2018).

Alguns fatores que podem ter contribuído para que o incidente ocorresse estão listados abaixo (Ibid., 2018):

- Acúmulo de material combustível na base do skid devido a ausência de rotina de manutenção (limpeza dos skids e desobstrução dos drenos) na área abaixo do tanque de etanol, mesmo existindo um plano de manutenção semanal para tal atividade, o dreno que deveria ser mantido aberto estava obstruído;

- Trabalho a quente no local para montagem do skid da bomba de anti-incrustante (uso de lixadeira, corte e solda), sendo a possível causa que contribuiu para a ignição do líquido combustível acumulado no skid, vale ressaltar que o trabalho foi iniciado antes da aprovação da permissão de trabalho no local;

Fatores que contribuíram para o agravamento do acidente (Ibid., 2018):

- Mau gerenciamento de mudanças durante a interligação do tanque MEG (Monoetilenoglicol) ao tanque de etanol, uma vez que o tanque MEG não estava operacional, o intuito de tal interligação era aumentar a capacidade de estocagem de etanol. Porém, durante a sistemática gestão de mudanças, não foram identificadas necessidades de alterações em dispositivos de segurança;
- A Gestão de Mudanças, datada de 2010, referente ao projeto de modernização da unidade de produtos químicos, feita antes de tal modernização, determinava que o sistema de dilúvio para combate a incêndio deveria ser redimensionado, utilizando como base de cálculo a NFPA 15 para dimensionamento da quantidade de aspersores e a API RP 14C para a quantidade de plugues fusíveis, porém, mesmo após identificar a necessidade de redimensionamento, tal projeto não foi implementado;
- Durante a realização do memorial de cálculo das linhas de vent atmosféricos para os tanques de aço inoxidável não foi considerada a condição de fogo, considerando que o sistema de dilúvio protegeria o equipamento de forma que o fluido não atingisse a temperatura de ebulição, em desacordo com a Norma API STD 2000;
- Rompimento do tanque por sobrepressão causada pelo calor gerado no incêndio de poça e dique de contenção insuficiente para conter todo o líquido do tanque, causando o derramamento do produto para fora dos limites de contenção;
- Perda do barramento elétrico devido a queima do cabo elétricos que estava em desacordo à Filosofia de Segurança da Petrobras, que definia que cabos que

alimentam serviços essenciais e de emergências devem possuir encaminhamento por duas rotas e/ ou ser resistente a fogo, desta forma o as bombas elétricas de combate a incêndio falharam;

- A matriz de causa e efeito da unidade não previa o acionamento automático do alarme de emergência, desta forma este foi acionado manualmente, o que causou um aumento no tempo de ação por parte da brigada, que soube da emergência através de relato de outros tripulantes;
- Falha nas ações e equipamentos que de ações para atendimento do Plano de Resposta a Emergência (PRE), uma vez que o plano definia apenas as funções responsáveis por cada ação, causando um conflito de quem da função seria o responsável pela ação durante a emergência. Além da falha dos equipamentos de rádio transmissores, que ficaram inoperantes durante a emergência pois entraram em contato com a água do combate à emergência.

Ações que reduziram a gravidade do evento (Ibid., 2018):

- Adernamento da unidade a fim de direcionar o produto vazado para a direção oposta ao casario;
- Chegada das embarcações fire fighting em tempo satisfatório para atuação no incêndio, conforme relatos descritos no relatório de investigação estas embarcações chegaram em 15 minutos.

Após descrição das informações relacionadas ao acidente ocorrido na P-20, o presente trabalho apresentará a seguir a metodologia utilizada para desenvolvimento do estudo.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho consiste na elaboração de uma análise preliminar de riscos inicial do sistema de tanques de produtos químicos da plataforma P-20, a qual é base para construção de uma ferramenta de gestão de barreiras preventivas e mitigadoras. Tal ferramenta em conjunto com as avaliações referentes à investigação do acidente ocorrido na P-20 em 2013 seria utilizada para então gerar aprendizados e

recomendações gerais para os sistemas de gestão de barreiras em segurança de processos de instalações industriais.

A seguir, apresenta-se a descrição detalhada de cada uma das etapas discutidas acima:

3.1. Desenvolvimento da APR

A técnica de avaliação de riscos escolhida para analisar o sistema relativo à situação acidental foi a Análise Preliminar de Riscos (APR). Segundo o livro *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures* (CCPS, 2011), a APR possui foco nos materiais perigosos e processos relativos a ele em uma instalação. Ainda de acordo com CCPS (2011) a elaboração da Análise Preliminar de Riscos possui 3 passos principais: a preparação para a análise, a realização da análise e a sua documentação final. A equipe de elaboração da APR contém 5 participantes, com suas diferentes visões e experiências em relação a segurança de processos e os sistemas de processo em questão.

A preparação para a APR consistiu no levantamento das informações e documentações relativas ao sistema de tancagem de produtos químicos da plataforma P-20. A fonte de informações referente a isso disponível publicamente e utilizada na presente análise foi o Relatório de Investigação da ANP do Acidente de P-20. Neste material constavam diversas informações acerca do processo, configuração espacial e sistemas de proteção relativos aos tanques de produtos químicos, onde se sucedeu o acidente de 2013 (ANP, 2018).

Com base nas informações obtidas, realizou-se a identificação de premissas para guiar a análise e reduzir o fator subjetivo dos integrantes da equipe. Assim, foram selecionados os diferentes perigos a serem avaliados, os quais possuíam relação com o tanque de etanol (objeto do cenário acidental da P-20) da plataforma P-20 à época do acidente ocorrido. Posteriormente identificou-se as causas de materialização deste perigo, as possíveis consequências, seus modos de detecção e salvaguardas, a frequência da materialização do perigo e a severidade para Pessoas (SP), Patrimônio (P), Meio Ambiente (M) e Imagem da Empresa (I). A escala utilizada para identificação da frequência, severidade e risco das consequências do cenário acidental avaliado foi baseada na Matriz de Tolerabilidade de Riscos da Norma da Petrobras N-2782 abaixo (PETROBRAS, 2008).

Figura 3. Matriz de Tolerabilidade de Riscos (PETROBRAS, 2008)

						Categorias de Frequência				
		Descrição / Características				A Extremamente Remota	B Remota	C Pouco Provável	D Provável	E Frequente
		Segurança Pessoal	Patrimônio / Continuidade Operacional	Meio Ambiente	Imagem	Conceitualmente possível, mas sem referências na Indústria	Não esperado ocorrer, apesar de haver referências em instalações similares na Indústria	Pouco provável de ocorrer durante a vida útil de um conjunto de unidades similares	Possível de ocorrer uma vez durante a vida útil da instalação	Possível de ocorrer muitas vezes durante a vida útil da instalação
Categorias de severidade das consequências	V	Catastrófica	Múltiplas fatalidades intramuros ou fatalidade extramuros	Danos catastróficos, podendo levar à perda da instalação industrial	Danos catastróficos	Repercussão internacional	M	M	NT	NT
	IV	Crítica	Fatalidade intramuros ou lesões graves extramuros	Danos severos a sistemas (reparação lenta)	Danos severos	Repercussão nacional	T	M	M	NT
	III	Média	Lesões graves intramuros ou lesões leves extramuros	Danos moderados a sistemas	Danos moderados	Repercussão regional	T	T	M	NT
	II	Marginal	Lesões leves intramuros	Danos leves a sistemas / equipamentos	Danos leves	Repercussão local	T	T	T	M
	I	Desprezível	Sem lesões ou no máximo casos de primeiros socorros	Danos leves a equipamentos sem comprometimento da continuidade operacional	Danos insignificantes	Repercussão insignificante	T	T	T	M

No caso da obtenção de cenário Moderado (M) a inserção de recomendações para redução do risco é desejada desde que seja capaz de reduzir o risco de forma razoavelmente aplicável (atingindo o nível ALARP - *As Low as Reasonably Practicable*). Porém, quando o risco apresentar cenário Não Tolerável (NT) a recomendação deve obrigatoriamente ser capaz de reduzir o risco, caso contrário, não seria tolerável a operação da instalação.

Por fim, a análise, seus riscos e recomendações são documentadas e servem para embasar o encaminhamento das etapas posteriores do presente trabalho.

3.2. Desenvolvimento do Bow Tie

O principal entregável do Bow-Tie, também o mais disseminado na indústria de óleo e gás em SEPRO, é a comunicação gráfica da análise de risco qualitativa. No entanto, a ferramenta pode ser aplicada no aprimoramento do sistema de gestão de segurança, no incremento da análise de investigação de acidentes, auditorias de barreiras. Sendo essa proposta, desenvolvida neste estudo.

A elaboração do *Bow Tie* para a análise da disponibilidade e adequação das barreiras preventivas e mitigadoras, salvaguardas e detecções do sistema de injeção de químicos da unidade P-20, onde ocorreu o evento indesejado, utiliza como base a análise

preliminar de riscos (APR) realizada anteriormente pela equipe multidisciplinar do presente trabalho, assim como da experiência destes e as informações contidas no relatório de investigação do acidente da P-20 (ANP, 2018). Para a definição da estrutura em si do diagrama, considerou-se sete diferentes barreiras de segurança de processos, as quais são apresentadas abaixo (CCPS, 2021):

Tabela 1. Barreiras de segurança de processos e seus elementos físicos constituintes

# Barreira	Descrição da Barreira	Elementos físicos constituintes
1	Projeto Básico	Tubulações e acessórios, tanque, bombas
2	Sistema Básico de Controle de Processo (BCPS)	Elementos iniciadores, executores e finais da lógica de controle
3	Alarmes Críticos e Intervenção Humana	Elementos iniciadores e executores dos alarmes que demandam ação do operador
4	Funções Instrumentadas de Segurança (SIF)	Elementos iniciadores, executores e finais da lógica de intertravamento de segurança
5	Proteção Física pré-liberação	Dispositivos de alívio como válvulas de alívio (PSV)
6	Proteção Física pós-liberação	Bacias de contenção, corta chamas, sistema de dilúvio
7	Fontes de ignição	Proteção para equipamentos instalados em atmosfera explosiva (tipo de proteção Ex)
8	Resposta à Emergência da Unidade	Equipamentos do sistema de combate a incêndio e do sistema de salvação

A barreira 7 “Fontes de ignição” foi adicionada por intenção do grupo, ao considerar que é uma barreira também relevante ao cenário acidental em questão e não esteve presente no referencial em CCPS (2021).

A elegibilidade de um dispositivo, sistema ou ação como barreira para a elaboração do Bow-Tie seguiu as premissas adotadas para a definição de IPL (Camadas de proteção

independentes), ou seja, eficaz na prevenção da consequência, quando ela funciona como projetado e auditável. (CCPS, 2021).

A abordagem de falha sistemática, foi utilizada a fim de determinar métricas para o monitoramento, integridade e disponibilidades das salvaguardas que compõem cada uma das barreiras, permitindo dessa forma, um acompanhamento do fator de degradação de barreiras. A Tabela 2 apresentada a seguir apresenta as causas de falha ou fator de degradação adotadas como base para o presente estudo (Guidelines for chemical process quantitative risk analysis, second edition (CCPS, 2000).

Tabela 2. Fatores de degradação detalhados para descrição da degradação das barreiras de segurança de processos

Engenharia				Operação			
Projeto		Construção		Procedimentos		Meio Ambiente	
Deficiências funcionais	Falhas de Realização	Fabricação	Instalação e comissionamento	Manutenção e testes	Operação	Extremos Normais	Eventos Energéticos
Perigo não detectável	Dependência de canais	Controle de qualidade inadequado	controle de qualidade inadequado	Reparo imperfeito	Erros do operador	Temperatura	Fogo
Instrumentação inadequada	Componentes comuns de operação e proteção	Padrões inadequados	Padrões inadequados	Testes imperfeitos	Procedimentos inadequados	Pressão	Inundação
Controle inadequado	Deficiências operacionais	Inspeção inadequada	Inspeção inadequada	Calibração imperfeita	Supervisão inadequada	Umidade	Clima
-	Componentes inadequados	Testes inadequados	Testes e comissionamento inadequado	Procedimentos imperfeitos	Erros de comunicação	Vibração	Terremoto
-	Erros de Projeto	-	-	-	-	Aceleração	Explosão
-	Limitações de projeto	-	-	-	-	Estresse	Mísseis
-	-	-	-	-	-	Corrosão	Energia elétrica
-	-	-	-	-	-	Contaminação	Radiação
-	-	-	-	-	-	Interferência	Químicos
-	-	-	-	-	-	Carga Estática	

Dessa forma, cada barreira, do bow-tie, conta com elementos físicos constituintes (salvaguardas) e seus respectivos fatores de degradação. A inclusão dos elementos constituintes de cada barreira foi baseada na experiência própria dos analistas do

presente estudo, considerando a situação do cenário acidental em questão. Segue abaixo os fatores de degradação considerados para cada barreira e as opções de seus status:

Tabela 3. Fatores de degradação elencados para cada barreira e seus status possíveis

Fator de degradação	# das barreiras relativas a esse fator de degradação	Status do fator
Plano de Manutenção	1,2,3,4,5,6,8	"Dentro do prazo", "em atraso" ou "não aplicável (NA)"
Recomendação técnica de inspeção (RTI)	1,5,6,8	"Em atraso", "Dentro do prazo" ou "não aplicável (NA)"
Nota de falha	1,2,3,4,5,6,8	"Nota indicando degradação função sem contingenciamento", "nota indicando degradação função com contingenciamento" ou "Ausência notas"
Treinamento Operação	1,2,3,4,5,6,8	"Dentro do prazo" ou "Em atraso para mais de um operador"
Inibição	3,4,6,8	"Inibido e com gestão conforme", "Inibido e sem gestão", "Não inibido (disponível)" ou "não aplicável (NA)"
Permissão de trabalho	7	"Emitida e com os riscos devidamente avaliados" ou "Emitida e sem os riscos devidamente avaliados"
Certificação Ex	7	"Adequada" ou "Não adequada"
Simulado de Emergência	8	"Dentro do prazo", "em atraso" ou "não aplicável (NA)"

Além disso, a equipe buscou, com base nas informações da investigação do acidente, identificar a situação de cada um destes equipamentos físicos e consequentemente das barreiras. A fim de melhor identificar a disponibilidade de cada barreira, foi elaborado o seguinte critério abaixo:

Tabela 4. Status dos elementos constituintes em cada barreira com base na situação de seu fator de degradação

Fator de degradação	Status fator de degradação do elemento	Status do Elemento
Plano de Manutenção	Em atraso	Parcialmente degradada (status laranja)
Recomendação técnica de inspeção (RTI)	Em atraso	Degradada (status vermelho)
Nota de falha	Nota indicando degradação função sem contingenciamento	Degradada (status vermelho)
	Nota indicando degradação função com contingenciamento	Parcialmente degradada (status laranja)
Treinamento Operação	Em atraso para mais de um operador	Parcialmente degradada (status laranja)
Inibição	Inibido e sem gestão	Degradada (status vermelho)
	Inibido e com gestão	Parcialmente degradada (status laranja)
Permissão de Trabalho	Emitida e com os riscos devidamente avaliados	Degradada (status vermelho)
	Emitida e sem os riscos devidamente avaliados	Verde (status disponível)
Certificação Ex	Não adequada	Degradada (status vermelho)
	Adequada	Verde (status disponível)
Simulado de Emergência	Em atraso	Parcialmente degradada (status laranja)

Os outros status dos fatores de degradação dos elementos indicam status dos elementos como “disponível” (status verde).

No caso do status de um único elemento de uma barreira estiver “degradado” (status vermelho), toda a barreira teria seu status indicado como “degradada” (status vermelho). Caso um único elemento estiver com o status “parcialmente degradado” (status laranja), a barreira apresenta status “parcialmente degradada” (status laranja). Caso dois ou mais elementos apresentem status “parcialmente degradado” em uma barreira, esta apresentaria status “degradada”. As outras situações definem o status da barreira como “disponível” (status verde). Abaixo apresenta-se um resumo destes critérios de saúde das barreiras de segurança de processos:

Tabela 5. Escala de cores descrevendo a situação de cada barreira no *Bow Tie*

Status do elemento da barreira	Status da barreira	Escala de cores
Um ou mais elementos “degradado”	“Degradada”	Vermelho
Um único elemento “em degradação”	“Em degradação”	Laranja
Dois ou mais elementos “em degradação”	“Degradada”	Vermelho
“Disponível” ou “Não aplicável”	“Disponível”	Verde

Uma importante premissa adotada para a elaboração do *Bow Tie* em questão é o fato dos elementos das barreiras serem considerados disponíveis quando não houver indicação de sua degradação pelo relatório de investigação de acidentes da P-20 elaborado pela ANP (ANP, 2018). Ou seja, considerou-se que, caso não tenha sido relatado no relatório, o fator de degradação em questão não provoca impacto na degradação das barreiras de segurança de processos.

Assim, com base nos resultados dos status da barreira, posteriormente o intuito do trabalho é promover o alinhamento de informações em relação à investigação do acidente realizado pela ANP (ANP, 2018) e a definição final de recomendações

referentes à melhoria no sistema de gestão de segurança de processos para unidades marítimas de produção de óleo e gás.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. APR elaborada para o sistema de tancagem de produtos químicos da P-20

A Análise Preliminar de Riscos elaborada pela equipe multidisciplinar para o sistema onde se sucedeu o cenário acidental da P-20 em 2013 conteve 4 premissas utilizadas para nortear o desenvolvimento da avaliação de riscos, as quais são apresentadas abaixo:

Tabela 6. Premissas para elaboração da APR

Premissa	Descrição da Premissa
1	Considera-se que o cenário em questão é localizado em área aberta, onde o fluxo de pessoas também é esperado
2	Não foi considerado vazamento de produto ao mar, pois o sistema possui capacidade de contenção própria e sistema de drenagem adequado.
3	Para elaboração da APR foi considerado o pleno funcionamento das salvaguardas e modos de detecção identificados
4	Os cenários avaliados nesse estudo foram relativos ao tanque de etanol apenas, pois este sistema é o que possuía mais informações com base no relatório de investigação da ANP. Os outros produtos químicos não possuíam informações capazes de subsidiar uma análise referente a eles, portanto avaliou-se apenas perigos referentes a etanol.

A premissa 1 possui a finalidade de subsidiar a categorização de severidades para Pessoas. Enquanto isso, a premissa 2 visa identificar a severidade para Meio Ambiente, ao considerar que o volume de etanol do inventário do sistema não é suficientemente capaz de transbordar a bacia do deck da plataforma, de modo que não é possível o derrame de etanol ao mar. Por sua vez, a premissa 4 possui a intenção de apontar quais perigos seriam devidamente avaliados na análise de riscos e quais os sistemas a serem tomados como base (CCPS, 2011).

Já a análise final obtida para o sistema em questão com base nas premissas descritas anteriormente, pode ser observada na figura abaixo:

Figura 4. Análise Preliminar de Riscos

Perigos	Causas	Possíveis consequências	Modo de detecção / Salvaguardas	Freq.	Severidade				Risco				Observações / Recomendações	Cenário
					S	P	M	I	S	P	M	I		
Pequena liberação de produto inflamável (etanol)	Vazamento em linhas, acessórios, flanges, equipamentos causada por corrosão, fadiga, impacto mecânico, materiais inadequados e falha na montagem	- Incêndio em poça - Lesão a pessoas	- Visual (D) - Rede de plug fusível acionando o sistema de dilúvio (S) - Bacia de contenção (S) - Sistema de combate a incêndio (S)	D	III	II	I	III	M	M	T	M		1
Grande liberação de produto inflamável (etanol)	Ruptura em linhas, acessórios, flanges, equipamentos causada por corrosão, fadiga, impacto mecânico, materiais inadequados e falha na montagem	- Incêndio em poça - Incêndio em nuvem - Explosão - Fatalidade de pessoas	- Visual (D) - Rede de plug fusível acionando o sistema de dilúvio (S) - Bacia de contenção (S) - Sistema de combate a incêndio (S)	C	IV	III	I	IV	M	M	T	M	R1) Caso não exista, implementar instalação de transmissor de pressão capaz de identificar cenário de queda de pressão no sistema e acusar perda de contenção (PALL). Não haverá alteração do risco após implementação da recomendação, uma vez que trata-se de um modo de detecção.	2
Grande liberação de produto inflamável (etanol)	Sobrepresão do tanque de armazenamento de etanol devido a fontes externas (incêndio, atividades a quente próxima), associado com expansão e vaporização do fluido no interior do tanque	- Incêndio em poça - Incêndio em nuvem - Explosão - Fatalidade de pessoas	- Rede de plug fusível acionando o sistema de dilúvio (S) - Sistema de combate a incêndio (S) - Bacia de contenção (S)	C	IV	III	I	IV	M	M	T	M	Observação: Verificar o cálculo de dimensionamento do vent do tanque de etanol, garantindo que foi contemplado o critério fogo, conforme API2000 Q1) O vent do tanque não foi considerado salvaguarda do cenário devido ao fato de seu dimensionamento não ter sido realizado para caso de incêndio, o que está em desacordo com a norma API 2000. R2) Avaliar a possibilidade de adequação do sistema de vent do tanque, a fim de entrar em conformidade com a API 2000. Q2) A frequência foi considerada 'C' devido a consideração que fonte de calor seria externa e teria que fragilizar o material do tanque suficiente para a ruptura.	3
Grande liberação de produto inflamável (etanol)	Sobrepresão do tanque de armazenamento de etanol	- Incêndio em poça - Incêndio em nuvem - Explosão - Fatalidade de pessoas	- Rede de plug fusível acionando o sistema de dilúvio (S) - Vent do tanque direcionado a local seguro (S) - Sistema de combate a incêndio (S) - Bacia de contenção (S)	C	IV	III	I	IV	M	M	T	M	Q3) As causas da sobrepresão seriam qualquer uma exceto entupimento do sistema de vent do tanque e incêndio por fonte externa.	4

Para o cenário 2 da APR apresentada, levantou-se a seguinte recomendação: “R1) Caso não exista, implementar instalação de transmissor de pressão capaz de identificar cenário de queda de pressão no sistema e acusar perda de contenção (PALL). Não haverá alteração do risco após implementação da recomendação, uma vez que trata-se de um modo de detecção”. Como a recomendação possui a finalidade de criação de mais um modo de detecção do cenário, não houve então a reclassificação do risco deste cenário. Esse modo de detecção complementar possui a finalidade de ser uma outra possibilidade de se detectar o cenário accidental, além da detecção visual.

Os cenários 3 e 4, por sua vez, estavam relacionados à causa de sobrepresão do tanque, tais cenários foram analisados conforme o conhecimento da equipe que elabora o trabalho a fim de realizar uma análise multidisciplinar dos riscos.

Um deles considera a sobrepresão devido a fontes externas, como o calor provocado por incêndio, ou qualquer trabalho a quente próximo ao tanque que possa gerar aquecimento.

Desta forma, conforme análises do relatório algumas recomendações foram propostas, a primeira, para o caso de grande liberação de produto inflamável devido a

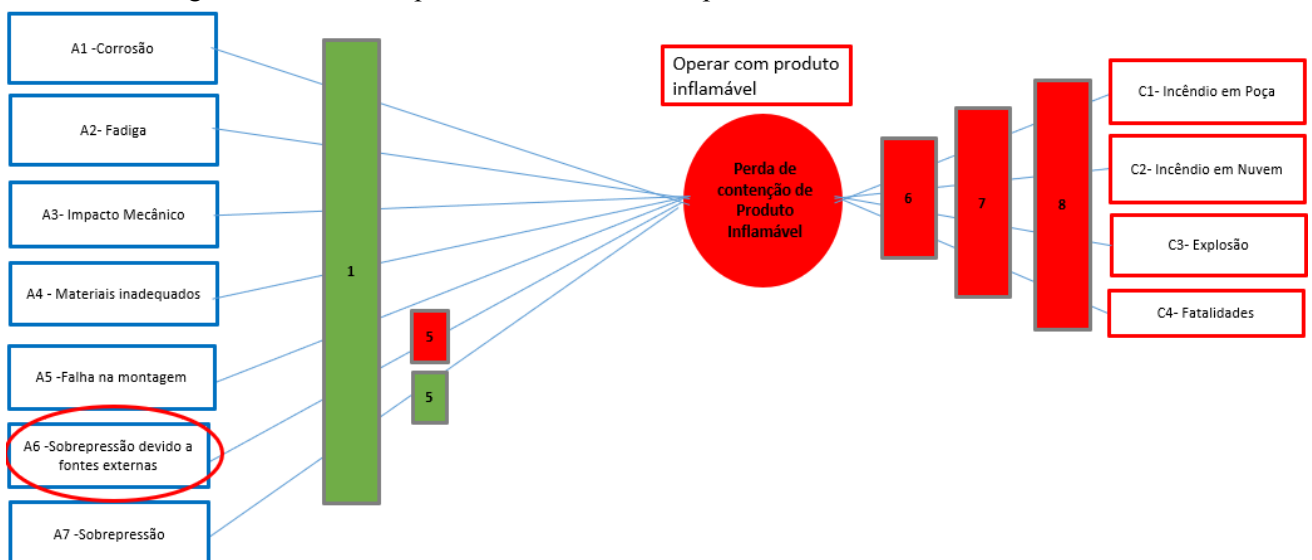
ruptura em linhas, acessórios, flanges, equipamentos causadas por corrosão, fadiga, impacto mecânico, uso de materiais inadequados e/ ou falha na montagem recomenda-se a instalação de transmissor de pressão capaz de identificar cenário de queda de pressão no sistema e acusar perda de contenção (PALL). Não haverá alteração do risco após implementação da recomendação, uma vez que trata-se de um modo de detecção.

Para o cenário de sobrepressão do tanque de armazenamento de etanol devido a fontes externas, como incêndio e atividades a quente próximas ao tanque, associada com expansão e vaporização do fluido no interior do tanque, não foi considerado como salvaguarda do cenário devido ao fato de seu dimensionamento não ter sido realizado para caso de incêndio, o que está em desacordo com a norma API 2000, desta forma recomenda-se a adequação do sistema de vent do tanque, a fim de entrar em conformidade com a norma americana (API, 1998).

4.2. Diagrama *Bow Tie* Elaborado para Grande Liberação de Fluido Inflamável

Com base na APR acima apresentada, nas informações obtidas do relatório de investigação do acidente da P-20 (ANP, 2018) e pela metodologia apresentada no item 3.2, obteve-se a seguinte estrutura básica do *Bow Tie*, correlacionando as ameaças, barreiras, consequências, perigo e evento topo:

Figura 5. Estrutura representativa do *Bow Tie* para o cenário avaliado



O evento topo considerado no diagrama apresentado acima foi o que possui a maior severidade na APR realizada anteriormente: “grande liberação de produto inflamável”. Percebe-se que as barreiras à esquerda do evento topo, as quais são barreiras preventivas e anteriores à perda de contenção, apresentam status que indicam disponibilidade. No entanto, como o próprio relatório de investigação do acidente da P-20 indica, ocorreu certo acúmulo de material combustível na bacia de contenção do tanque de etanol. Assim, a própria investigação não relatou degradação na contenção primária dos equipamentos (barreira 1), mas pode ter ocorrido certo gotejamento por pequeno vazamento e acúmulo contínuo desse material no *skid* das bacias de contenção, ou seja, no espaço destinado à contenção secundária de vazamentos relativos ao tanque de etanol (ANP, 2018).

Esse fato, associado às barreiras degradadas apresentadas em vermelho na Figura 4, indicam que a materialização da explosão e incêndio em nuvem relatada na P-20 (ANP, 2018) é decorrente de falhas na gestão e condições das barreiras de segurança de processos mitigadoras do *Bow Tie* apresentado.

A barreira 5, a qual contempla o elemento de vent do tanque de etanol, apresenta-se degradada quando avaliada para a ameaça de sobrepressão devido a incêndio e trabalho a quente externo pois este não foi devidamente dimensionado para tal cenário, contrariando até mesmo a norma API 2000 (API, 1998). No entanto, esta mesma barreira para a ameaça de sobrepressão geral, exceto por incêndio e trabalho a quente externo, apresenta-se nas suas devidas condições pois foi de fato dimensionado para este cenário.

A barreira 6, por sua vez, apresenta dois elementos degradados impactando na completa degradação desta barreira: a bacia de contenção relativa à tancagem de etanol e a rede de plugue fusível acionando sistema de dilúvio por ADV. Constatou-se no relatório de investigação de acidentes que o primeiro elemento apresentava certos desvios tolerados na área operacional da plataforma: tanto o entupimento de drenos da bacia de contenção como também o acúmulo de produtos químicos no *skid*. Esse foi inclusive um dos motivos para o escalonamento do acidente. Já a rede de plugue fusível acionando sistema de dilúvio apresentou inconsistências relativas ao projeto, com número de plugues e bicos aspersores inferior ao determinado no memorial de cálculo (ANP, 2018).

A barreira 7 apresentava-se também degradada ao conter degradação em seu elemento “Procedimento de controle de trabalho a quente”, uma vez que ocorreram desvios em campo relacionados à devida liberação de permissão de trabalho. Esta apresentava falhas na sua aprovação, avaliação dos riscos da tarefa e arquivamento adequado (Ibid., 2018).

A barreira 8 em vermelho indica que tanto a bomba de combate a incêndio elétrica quanto a diesel possuíam desvios que indicavam sua degradação funcional. Para a primeira, o relatório de investigação relatou desvios na adequação do barramento de eletricidade, que não possuía rotas distintas para a bomba de emergência. Além disso, os cabos elétricos relativos a esse sistema não eram resistentes ao fogo, contrariando o que foi recomendado pela sociedade classificadora da unidade marítima de produção. Este fato impede que a bomba elétrica desempenhe sua função devidamente em um caso de escalonamento de incêndio que atinja as suas proximidades. A bomba de combate a incêndio acionada a diesel, por sua vez, não performou de forma adequada e automática quando foi preciso durante o acidente, de modo que foi preciso acioná-la de forma manual. Esse fato indica possivelmente que o plano de manutenção não foi realizado de forma adequada, pois não foi capaz de detectar a falha na sua funcionalidade (Ibid., 2018).

A série de degradações em barreiras de segurança de processos descrita acima auxilia na visualização da concretização do acidente, mas também apresenta as falhas no sistema de gestão de segurança de processos e algumas possibilidades de melhoria que serão apresentadas no item a seguir. O que fica evidente é que boa parte das barreiras relativas à ameaça de “Sobrepessão devido a incêndio e trabalho a quente externo” estavam degradadas no momento da concretização do acidente (5 barreiras de 4 encontravam-se degradadas de fato), podendo de fato explicar a sua ocorrência. Como o próprio relatório da ANP sugere, esta ameaça é a mais provável para ter causado o evento acidental (Ibid., 2018). Portanto é relevante explorar os motivos dessa degradação das barreiras, os fatores de degradação envolvidos e possíveis sugestões para melhoria em um sistema de gestão de segurança de processos.

4.3. Recomendações para melhoria de sistemas de gestão de segurança de processos

As falhas no sistema de drenagem e a má adequação dos plugues fusíveis do sistema de dilúvio da P-20, conforme consta no relatório da investigação do acidente e conforme demonstrado no *Bow Tie* elaborado, denotam falhas na execução do plano de manutenção destes equipamentos relacionados (ANP, 2018). É fato que o problema relacionado ao mau posicionamento dos plugues fusíveis na região dos tanques de produtos químicos é uma falta de adequação ao projeto, porém, uma verificação adequada em uma atividade de manutenção preventiva poderia identificar essa falha. Dessa forma, a recomendação para melhoria do sistema de gestão de segurança de processos seria a elaboração de uma lista mínima de tarefas de manutenção a qual deve ser atendida para todos os elementos críticos de segurança operacional (o qual deve englobar o sistema de drenagem e de dilúvio) pela equipe de execução da manutenção e deve ser monitorada pelas equipes de gestão da manutenção. Outra recomendação seria a elaboração de um plano de rota mínimo semanal na área operacional a ser executada pelos operadores, visando a identificação de problemas evidentes à primeira vista como o acúmulo de líquido nas bacias de contenção e identificação de vazamentos, por exemplo. Por fim, uma recomendação adicional seria a revisão do padrão de teste funcional do sistema de drenagem de equipamentos, indicando de forma clara que caso ocorra transbordamento durante o teste, deve haver contingenciamento imediato da situação: proibição da realização de serviços a quente nas proximidades (realizando isolamento da área por meio de faixa sinalizadora) até que ocorra a desobstrução dos drenos e comprovada recomposição da capacidade de drenagem na bacia de contenção (caso esta não seja feita em até 48h, o sistema deve ter sua operação interrompida).

A Tabela 7 abaixo sintetiza recomendações relevantes a serem sugeridas para aprimoramentos de um sistema de gestão de segurança de processos com base nos aprendizados obtidos pela avaliação do acidente ocorrido na plataforma P-20 e a estruturação da ferramenta *Bow Tie* realizada no presente trabalho:

Tabela 7. Resultados das recomendações gerais para aprimoramento do sistema de gestão de segurança de processos

Barreira degradada	Elemento degradado	Fator de degradação relacionado	Recomendação
B5) Proteção física pré-liberação	E1) Vent do tanque de Etanol	Nenhum, porém, erro na adequação às normas e boas práticas de engenharia (API 2000)	R1) Realizar adequação do sistema de vent do tanque de etanol ao preconizado na API 2000, buscando atender o seu dimensionamento ao caso de incêndio externo
B6) Proteção pós-liberação	E2) Bacia de contenção do tanque de etanol	Plano de manutenção	R2) Elaborar lista mínima de tarefas de manutenção focada na verificação de performance da contenção secundária da bacia. R3) Elaborar rota mínima na área operacional para identificação de desvios (como acúmulo de fluido em bacias de contenção) R4) Revisar o procedimento de teste funcional indicando claramente situação de contingenciamento em caso de falha na capacidade de drenagem.
B6) Proteção pós-liberação	E3) Rede de plugue fusível acionando ADV do tanque	Plano de manutenção	R5) Elaborar lista mínima de tarefas de manutenção para planos de manutenção do sistema de dilúvio.
B7) Fontes de ignição	E4) Procedimento de controle de trabalho a quente	Permissão de trabalho	R6) Avaliar a estruturação de sistema informatizado de controle de emissões de trabalho, com rastreamento de informações e sistemática de aprovação robusta.
B8) Resposta à Emergência da Unidade	E5) Bombas elétricas de combate a incêndio	Nenhum, porém, erro na adequação do barramento de eletricidade que não possuía rotas distintas para a bomba de emergência. Além disso, cabos elétricos não eram resistentes ao fogo, contrariando o recomendado pela sociedade classificadora	R7) Realizar adequação do barramento de eletricidade das bombas elétricas de combate a incêndio para conter rotas distintas e adequação dos cabos elétricos que sejam resistentes à chama.
B8) Resposta à Emergência da Unidade	E6) Bombas a diesel de combate a incêndio	Plano de manutenção	R8) Elaborar lista mínima de tarefas de manutenção focada na verificação de performance da bomba a diesel de combate a incêndio. R9) Elaborar plano semanal de testes da bomba de combate a incêndio, com informações resultantes inseridas no sistema de passagem de serviço.

As recomendações apresentadas acima denotam que a maioria dos elementos degradados, impactando na integridade das barreiras de segurança de processos, possuíam desvios relativos aos planos de manutenção. Em segundo lugar, estão os desvios relativos a aspectos de projeto da instalação. Assim, percebe-se que de forma geral, a gestão da manutenção e aplicação de critérios rigorosos de projeto são aspectos cruciais para a aprimorar a integridade das barreiras de segurança de processos e, conseqüentemente, estruturar um sistema de gestão de segurança de processos.

De forma geral, as recomendações apresentadas acima podem servir de base para reestruturação de sistema de gestão de segurança de processos focada em sistemas de tancagem de produtos inflamáveis de unidades de produção *offshore*, mas que podem ser desdobradas e adaptadas para outros tipos de unidades de produção. Estas recomendações devem ser gerenciadas de forma adequada pelos sistemas de gestão da companhia, contando com prazos para implementação, responsáveis claramente definidos e acompanhamento da conclusão de cada atividade de forma simples e objetiva.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados discutidos no presente trabalho, foi possível visualizar uma série de recomendações gerais para aprimoramento de um sistema de gestão integrado de segurança de processos baseado em uma ferramenta *Bow Tie* elaborada com base em uma análise preliminar de riscos constituída a partir do relatório de investigação de um evento acidental real em uma plataforma marítima de produção de óleo e gás. É possível identificar no *Bow Tie* elaborado uma série de degradações de barreiras de segurança de processos que explica a concretização do acidente ocorrido na Plataforma P-20, mas também serve de insumo para elaboração de recomendações para aprimoramento dos sistemas de gestão de instalações similares.

Como recomendação de trabalho futuro sugere-se a integração de ferramentas de gestão de barreiras de segurança de processos com os sistemas de gestão de manutenção, operação, pessoas e treinamentos da unidade, de modo a visualizar de forma dinâmica a alteração da degradação das barreiras e atuar corrigindo tais degradações, mas também atuando de forma geral realizando melhorias no sistema de gestão de segurança de processos como um todo.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Relatório de Investigação do Incidente de Explosão Ocorrido em 11/02/2015 no FPSO Cidade São Mateus. 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/fpsocidade-de-sao-mateus>. Acesso em 01/07/2022.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Relatório de Investigação de Acidente Plataforma P-20. 2018. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/incidentes/relatorios-de-investigacao-de-incidentes-1/arquivos-relatorios-de-investigacao-de-incidentes/plataforma-p-20/relatorio-p-20_final.pdf. Acesso em 30/06/2022.

API STD 2000. Venting Atmospheric and Low-Pressure Storage Tanks: Nonrefrigerated and Refrigerated, American Petroleum Institute. 1998.

Center for Chemical Process Safety (CCPS). **Análise de camada de Proteção: Avaliação simplificada do risco de processo: Avaliação simplificada do risco de processo**. Interciência, 2021.

Center for Chemical Process Safety (CCPS). **Bow Ties in Risk Management: A Concept Book for Process Safety**. Wiley-AIChE, 2018.

Center for Chemical Process Safety (CCPS). **Guidelines for chemical process quantitative risk analysis**. Wiley-AIChE, 2000.

Center for Chemical Process Safety (CCPS). **Guidelines for hazard evaluation procedures**. Wiley, 2011.

IOGP. Safety data reporting user guide – 2015 data. 2015.

DE RUIJTER, Alex; GULDENMUND, Frank. The bowtie method: A review. **Safety science**, v. 88, p. 211-218, 2016.

HOPKINS, A. Decisões desastrosas: as causas humanas e organizacionais do desastre do Golfo do México. Editora Blucher, 2022.

MARSH. 100 Largest Losses in the Hydrocarbon Industry (1974-2019). 26ª edição. 2020.

PETROBRAS. Norma N-2782 – Técnicas Aplicáveis à Análise de Riscos Industriais. 2008.

REASON, J. Human error: models and management. *BMJ*, vol. 320, 768-770. 2000.