

Pós-Graduação

Segurança de Processos



GESTÃO DE ELEMENTOS CRÍTICOS DE SEGURANÇA OPERACIONAL: UMA ANÁLISE APLICADA AO ACIDENTE DE P-20

**Eduardo S. Santos, Eilson L. Morais Filho, George Luiz R. de Lima,
João Rui B. de Alencar, Simone da Silva Freire**

RESUMO

Grandes acidentes industriais continuam a ocorrer e são objeto de processo de gestão específico. Para garantir a segurança de instalações industriais, autoridades reguladoras como a Agência Nacional de Petróleo (ANP), estabeleceram a necessidade do agente regulado, manter um Sistema de Gestão de Segurança Operacional (SGSO), que visa garantir a prevenção, mitigação e resposta a eventos que possam causar acidentes que coloquem em risco as instalações, a vida humana ou meio ambiente durante todo o seu ciclo de vida. A gestão do risco das instalações é um dos pilares de sustentação desse processo de gestão, o qual é subdividido em elementos ou práticas específicas tentando enxergar os diversos componentes do risco. Este trabalho visa, através de uma revisão bibliográfica, a identificação de boas práticas de gerenciamento de elementos críticos, e aplicados aos relacionados às causas do acidente da plataforma P-20 da PETROBRAS em 2013. A aplicação de padrões de desempenho surge como uma boa prática identificada já utilizada em várias operadoras de unidades de produção de óleo e gás e alinhada com a regulação internacional. Foram elaborados padrões de desempenho para as barreiras que falharam no acidente da plataforma P-20 e apontados requisitos desses padrões, que se bem aplicados, poderiam minimizar ou garantir a não recorrência de um acidente daquela natureza. O trabalho conclui que os padrões de desempenho se constituem uma boa referência para medir, monitorar e testar a eficácia de um elemento ou barreira crítica durante todo o ciclo de vida da instalação.

Palavras-chave: Plataforma P-20, Elementos Críticos, Padrões de Desempenho, SGSO

ABSTRACT

Major industrial accidents continue to occur and are subject to a specific management process. To guarantee the safety of industrial installations, regulatory authorities such as the National Petroleum Agency (ANP), established the need for the regulated agent to maintain an equivalent to an Operational Safety Management System (SGSO), which aims to guarantee the prevention, mitigation and response to events that may cause accidents that endanger facilities, human life or the environment throughout its life cycle. The risk management of facilities is one of the pillars of this management process, which is subdivided into specific elements or practices trying to see the different components of risk. This work aims, through a bibliographical review, to identify good practices for managing critical elements, and applied to those related to the causes of the accident on the PETROBRAS P-20 platform in 2013. The application of performance standards emerges as a good practice identified already used in several operators of oil and gas

production units and aligned with international regulations. Performance standards were developed for the barriers that failed in the accident on the P-20 platform and requirements of these standards were highlighted, which if well applied, could minimize or guarantee the non-reoccurrence of an accident of that nature. The work concludes that performance standards constitute a good reference for measuring, monitoring and testing the effectiveness of a critical element or barrier throughout the entire life cycle of the installation.

Keywords: *P-20 Platform, Critical Elements, Performance Standards, SGSO*

1. INTRODUÇÃO

A história da indústria de processos continua sendo marcada por grandes acidentes industriais. Alguns viraram protótipos e até hoje nos servem de exemplos e lições. Para ser específico, na indústria de petróleo e gás vale lembrar o desastre da *Piper Alpha* em 1988 que causou 167 mortes e a destruição completa da plataforma offshore no mar do norte. Em 2010, a explosão da plataforma *Deepwater Horizon*, resultou em 11 mortes e derramou mais de 4,5 milhões de barris de petróleo bruto no Golfo do México dos EUA, um dos maiores derramamentos de petróleo já registrados. Além desses, pelo marco divisório e inspiração que representa para a segurança de processos, o acidente de Bhopal na Índia em 1984, causou a morte de mais de 2.000 pessoas e mais de 200.000 ficaram feridas. (KLETZ, 2009).

No âmbito nacional, um acidente que merece destaque foi o ocorrido na plataforma P-20, da PETROBRAS. A P-20 é uma unidade flutuante de produção, processamento e transferência de óleo e gás do tipo semissubmersível. Em 26 de dezembro de 2013 houve um incêndio na área de tanques de produtos químicos, com consequente rompimento de um tanque de etanol e espalhamento dessa substância para a área de produção da unidade. Não houve vítimas, mas danos materiais e parada de produção foram constatados. Importante destacar que o evento foi resultado de uma série de causas relacionadas a falhas de projeto e de gestão, algumas delas associadas a elementos críticos de segurança operacional, como o sistema de combate a incêndios, drenagem e *vent* do tanque, além de falhas no sistema de alarme e organização da brigada de emergência. (BRASIL, 2018).

A realidade desses acidentes enseja um pressuposto de que certos aspectos da segurança de processos não são bem observados, medidos, analisados e controlados. Os acidentes quase sempre resultam de controles inadequados, e quase nunca são resultado de um único problema. A complexidade da interação de diversos fatores foi o contexto destes acidentes. (VENKATASUBRAMANIAN, 2011).

Nesse sentido, já são consagradas na indústria o conjunto de práticas de gestão de segurança de processos, como as Diretrizes para Segurança de Processos Baseadas em Risco (AIChE/CCPS, 2014), e o Regulamento Técnico do SGSO (BRASIL, 2007) como responsáveis pela redução do risco de acidentes graves e pela melhoria do desempenho

dos processos. E, na esteira dessa experiência, autoridades reguladoras, como a Agência Nacional de Petróleo (BRASIL, 2007), também tem estabelecido a necessidade do agente regulado manter uma sistemática equivalente de gestão, visando garantir a prevenção, mitigação e resposta a eventos que possam causar acidentes que coloquem em risco as instalações, a vida humana ou o meio ambiente durante todo o seu ciclo de vida.

A gestão do risco das instalações é um dos pilares de sustentação desse processo de gestão, o qual é subdividido em elementos ou práticas específicas, tentando enxergar os diversos componentes do risco. Dentre essas práticas está a dos elementos críticos de segurança operacional, compostos por equipamentos, sistemas ou procedimentos de segurança operacional, incluindo os associados a cenários críticos das análises de risco. Sobre eles, o agente regulado se obriga, atualmente, a garantir que tais equipamentos e sistemas estejam cobertos por planos de inspeção, testes e manutenção buscando a integridade mecânica e adequação ao uso. Sobre eles também deverão ser garantidos a implementação de procedimentos de contingenciamento quando os equipamentos ou sistemas estiverem em condições degradadas ou fora de operação, podendo incluir, de forma temporária, controles alternativos equivalentes, redução e limitação de produção ou isolamento e parada de equipamentos, sistemas ou instalações. (AIChE/CCPS, 2014)

A priori, cada planta possui uma lista de elementos críticos que requer, no caso da falta do mesmo ou degradação da condição de integridade, uma medida de contingenciamento validada, isto é, com fator de redução de risco equivalente ao original, para cada cenário acidental, ou que mantenha o risco em condições aceitáveis. Por outro lado, tais listas, a depender do tamanho da planta, podem ficar exaustivas para serem práticas. Ademais, o fator tempo, requerido para acompanhar a dinâmica do processo, muitas vezes inviabiliza outros processos que poderiam ser úteis, como gestão de mudanças. Por outro lado, uma condição para adoção da medida de contingenciamento é a existência de registros rastreáveis, desde a sua avaliação, definição e aprovação das medidas a serem adotadas.

Esse trabalho tem como objetivo principal a proposição de boas práticas para gerenciamento de elementos críticos relacionados às principais causas do acidente da plataforma P-20. Como objetivos específicos: Listar os fatores causais e causas raízes do evento a partir do relatório de investigação da ANP; realizar revisão bibliográfica sobre melhores práticas da indústria para gestão de Elementos Críticos de Segurança e aplicar

as boas práticas identificadas em um case do acidente de P-20, para evitar ocorrências similares.

2. DESENVOLVIMENTO

Todas as instalações industriais possuem riscos em suas operações. Obviamente, a depender de fatores como o produto gerado, localização, insumos manuseados, tecnologia aplicada, integridade e obsolescência da instalação, entre outros, esses riscos são maiores ou menores. O grande desafio da engenharia de segurança de processos é prevenir a ocorrência de acidentes de maior gravidade, decorrente de perda de contenção, e todas as possíveis consequências para pessoas, meio ambiente e instalações.

2.1. O modelo de acidentes do queijo suíço

O modelo acidental mais comumente utilizado para tentar explicar as causas de acidentes é o modelo do “Queijo Suíço” proposto por REASON (1997). Para o autor, eventos de segurança de processo raramente são causados por uma única falha catastrófica, mas frequentemente por múltiplos eventos ou falhas que são coincidentes (API RP 754, 2016). O modelo mostrado na Figura 1 explicita o conceito de camadas ou, também conhecida como defesa em profundidade. Para que um dano seja causado, várias falhas (desvios) devem ocorrer nos diferentes elementos implementados do sistema de gestão de segurança de processo. Esta representação visual é chamada de “queijo suíço”, sendo usada em vários relatórios de acidentes. Cada fatia do queijo é uma camada preventiva, ou salvaguarda. Cada furo é uma falha, muitas vezes desconhecida, dessa camada. É o alinhamento das falhas que permite o acidente. Se apenas uma das camadas funcionam isso já basta para evitar o acidente.

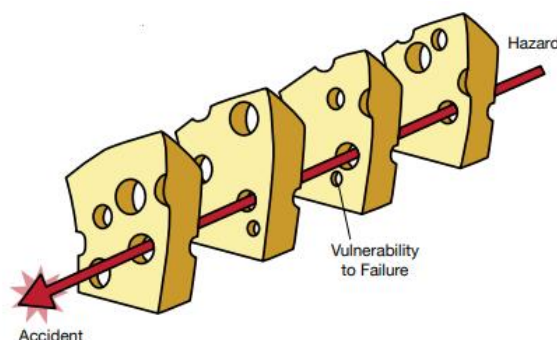


Figura 1- Modelo Acidental do Queijo Suíço

As barreiras, representadas pelas fatias do queijo, 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.

As barreiras, quando associadas com um cenário acidental com causas e consequências claramente definidas, são base para construção dos diagramas de Bow Tie, onde o evento principal (topo) é separado das causas, pelas barreiras preventivas e do aumento das consequências, pelas barreiras mitigadoras, permitindo uma representação gráfica dos possíveis cenários acidentais associados a um evento indesejado. A Figura 2 se constitui uma tipologia de barreiras de uma operadora.

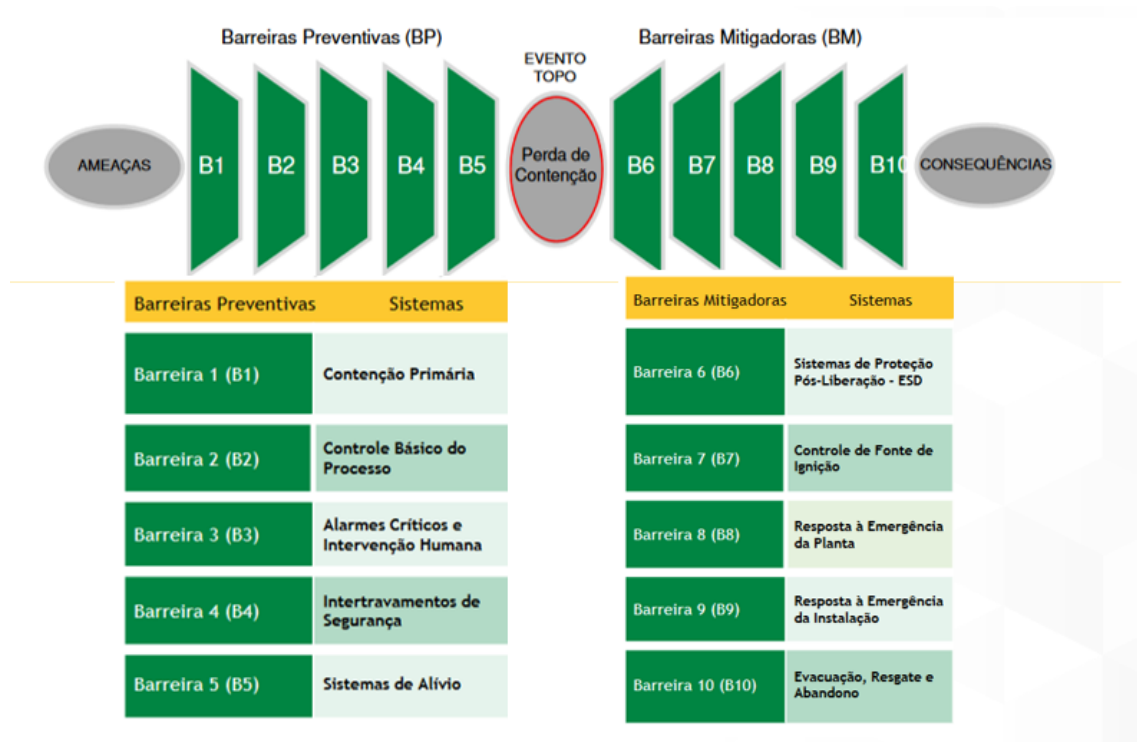


Figura 2- Representação de Tipos de Barreiras num Cenário Acidental (PETROBRAS, 2020)

Barreiras preventivas são aquelas cuja função é evitar a ocorrência de perda de contenção. Barreiras mitigadoras possuem como objetivo mitigar o evento de perda de contenção, de modo a evitar um desdobramento em acidentes de maiores proporções, no que se refere à pessoas, instalações e meio ambiente. A seguir, são descritas, de forma sucinta, as barreiras normalmente adotadas para nas indústrias offshore (CORTINA et al., 2014).

Barreiras Preventivas

- 1 – Contenção primária (**B1**): vasos, linhas, permutadores, bombas e demais equipamentos;
- 2 – Controle automático do processo (**B2**): 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 fluxo etc.;
- 3 – Alarmes que demandem a intervenção humana (**B3**): 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 (**B4**): 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 (**B5**): 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;

Barreiras Mitigadoras

- 1 – Sistema de proteção pós liberação (**B6**): 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 – Controle de Fontes de Ignição (**B7**): requisitos técnicos e procedimentos que impedem que fontes de calor ignorem uma possível atmosfera explosiva, como procedimentos de liberação de serviços a quente (PT) ou a integridade de equipamentos à prova de explosão (EX).
- 3 – Resposta emergencial automática da planta (**B8**): 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.
- 4 – Resposta à emergência da instalação (**B9**): Primeiras ações de resposta, conforme plano de resposta a emergência, p.ex.: Sistema de combate a incêndio por água, CO₂ etc.

5 – Evacuação, resgate e abandono (**B10**): Ações relacionadas ao abandono da instalação, ex.: Recursos de salvatagem, evacuação/resgate e abandono

2.2. A Degradação de Barreiras e Gestão do Risco

O modelo acidental do queijo suíço pressupõe a existência de falhas nas barreiras que uma vez alinhadas podem resultar num cenário acidental. Tais falhas são resultantes de um processo de degradação ao longo do tempo, que penalizam a integridade da barreira, a sua função e a menos que sejam tomadas ações corretivas adequadas das falhas, os níveis de risco serão mais altos do que os presumidos originalmente no projeto da barreira. A Figura 3 ilustra a dinâmica da degradação da barreira e do risco associado a essa degradação:

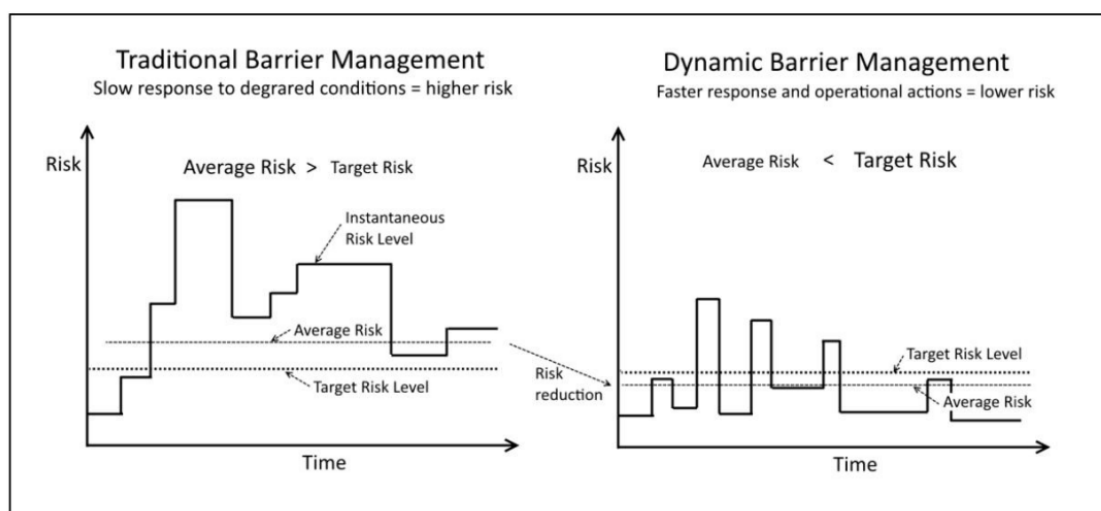


Figura 3- Dinâmica de Degradação de Barreiras e do Risco associado

(Fonte: PITBLADO et al., 2016)

Analisando a figura da direita percebe-se que as barreiras, estando íntegras inicialmente e com capacidade total levam o risco a seu nível mais baixo, o qual, ao longo do tempo, aumenta dado a degradação das barreiras. A diferença entre a figura da direita e da esquerda, demonstra o quão rápido as barreiras foram reparadas e a repercussão do risco médio menor quando a identificação e as ações corretivas das falhas são feitas de forma mais célere. Esse é o conceito de do processo conhecido por gestão dinâmica de barreiras.

2.3. Os elementos críticos (barreiras) e o órgão regulador

Para cumprir o papel de evitar a ocorrência ou minimizar a gravidade desses grandes acidentes, os SCE precisam ser mantidos íntegros, através de planos de manutenção e medidas de gestão, pelos quais se permitam monitorar o estado e o desempenho dos mesmos durante todo o ciclo de vida da instalação. Por isso, a identificação dos elementos críticos é a primeira etapa do processo de gestão desses componentes. Nesse sentido, as organizações devem dispor da aplicação de prática regular e sistemática de análise de riscos, utilizando técnicas, isoladas ou conjunta, como por exemplo HAZOP, APR, FMEA, (CCPS, 2008), se constituem o ponto de partida para essa identificação.

Através das análises de riscos são identificadas as possíveis causas que levem a cenários de acidentes de maior gravidade. A Norma ISO 17776 (2016), aplicada nos conceitos da IOGP (2018) estabelece critérios de severidade desses cenários, basicamente aqueles eventos não planejados com potencial de causar fatalidades ou danos graves ao meio ambiente. Normalmente estão associadas a liberações de substâncias perigosas, incluindo falhas estruturais ou descontroles que poderiam colocar a instalação sob risco ou áreas circunvizinhas. Os cenários de maior gravidade devem ser suportados por técnicas consagradas para identificação da extensão de áreas vulneráveis sujeitas ao risco de fogo, explosões, dispersão de nuvens tóxicas, definição de rotas de escape, estabelecimento de modos de falhas comuns dos componentes da instalação e, por consequência, a confiabilidade requerida para os mesmos. Também podem ser definidas a qualificação requerida de pessoas para operação em sistemas sujeitos a cenários de grandes acidentes.

Uma vez mapeados os cenários, são definidas a necessidade de salvaguardas para preveni-los ou mitigá-los. Dessa definição, surgem os elementos críticos ou as barreiras. Porém, analisando criticamente esse processo de definição dos elementos críticos, e em que pese não haver prescrição regulatória para essa qualificação, percebe-se que outros conceitos tendem a influenciar essa definição, como, o conceito de tolerabilidade aos riscos, as técnicas de análises de risco aplicadas, a disponibilidade e confiabilidade de uma base de dados de taxa de falha de componentes e de procedimentos operacionais. Nesse sentido a utilização de técnicas semiquantitativas como a LOPA (AIChE/CCPS, 2001) podem dar resposta a eventuais discrepâncias ou gaps quanto ao que considerar ou não como um elemento crítico ou barreira de segurança. A técnica LOPA, em que pese, quase sempre

ter sua aplicação associada a um estudo de HAZOP, tem a finalidade principal de responder se as salvaguardas são suficientes para tolerar determinado cenário

Ademais, os elementos críticos ou barreiras de segurança são um meio eficaz contra riscos conhecidos, uma forma de prevenir a ocorrência de eventos indesejados e proteger contra suas consequências. Porém, em se tratando de ambientes sociotécnicos complexos, a gestão de risco pressupõe uma melhoria contínua sujeita a monitoramento, reporte, investigação e identificação de novos cenários para os quais os elementos críticos e barreiras originalmente previstos já podem não ser mais suficientes (SKLET, 2006; HOLLNAGEL, 2008; YUAN et al., 2022).

Uma vez definidos os elementos críticos, importante destacar que não podem existir por si só; para que desempenhe a função, para a qual foram concebidos durante toda a sua vida na instalação, precisam estar íntegros e disponíveis. Nesse sentido, quando um SCE está em degradação, um ou mais instrumentos, equipamentos ou funções do SCE estão em falha, e pode haver comprometimento de alguma função de segurança que o SCE deveria desempenhar para proteger o desenvolvimento do cenário crítico, mapeado nas análises de riscos. Se houver a referida falha, simplesmente está com o funcionamento comprometido, requerendo, um processo de manutenção prioritário do reparo ou, alternativamente, a definição de medida de contingenciamento do mesmo até que as condições originais sejam restabelecidas. A Figura 4 resume esse processo.

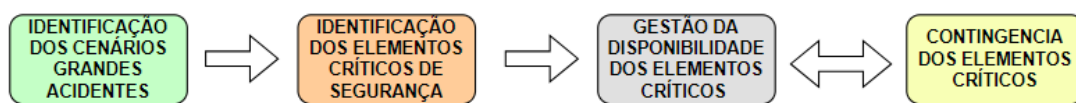


Figura 4 – Modelo de Gestão dos Elementos Críticos, foco disponibilidade (Adaptado de KAMAL G., 2021)

O modelo acidental e o processo de degradação de barreiras naturalmente instalado, está implicitamente, considerado pela Agência Nacional de Petróleo – ANP, na sua Resolução No. 43/2007 que institui o Regulamento Técnico do Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO) (BRASIL, 2007). Este regulamento se constitui um conjunto de 17 práticas de gestão distribuídas em 3 grandes grupos: O primeiro relativo às Práticas relativas à Liderança, Pessoal e Gestão, o segundo relativo a Instalações e

Tecnologia, e o terceiro relativo a práticas operacionais. Numa das práticas do segundo grupo, ligados a instalações e tecnologia, temos a que trata do gerenciamento e controle dos Elementos Críticos de Segurança Operacional. Neste ponto cabem aqui as definições do regulamento do que seja Elementos¹, Sistemas² ou Procedimentos Críticos³, conceitos que se assemelham ao conceito de barreiras dado como um meio físico e/ou não físico planejado para prevenir, controlar ou mitigar eventos indesejados ou acidentes (SKLET, 2006):

No corpo do texto da prática de gestão nº. 11, fica determinado que (BRASIL, 2007):

...

11.3.1 O Operador da Instalação estabelecerá procedimentos de contingência e definirá um sistema de aprovação e de controle dos mesmos, a ser utilizado quando Equipamentos ou Sistemas Críticos de Segurança Operacional estejam em condições degradadas ou fora de operação.

11.3.2 Tais procedimentos estabelecerão medidas temporárias que possam suprir a falta de Equipamentos ou Sistemas Críticos de Segurança Operacional, devido à falha, degradação ou fora de operação. Tais medidas deverão incluir, quando aplicável:

- a) Implantação de controles alternativos equivalentes;*
- b) Redução e limitação da produção; e*
- c) Isolamento e parada de equipamentos, sistemas, instalações.*

11.3.3 O Operador da Instalação estabelecerá o prazo em que os procedimentos temporários serão permitidos, até que as medidas corretivas sejam tomadas.

...

¹ **Elementos críticos:** “Qualquer equipamento ou elemento estrutural da instalação que poderia, em caso de falha, causar ou contribuir significativamente para um quase acidente ou para um acidente operacional”.

² **Sistemas críticos:** “Qualquer sistema de controle de engenharia que tenha sido projetado para manter a instalação dentro dos limites operacionais de segurança, parar total ou parcialmente a instalação ou processo, no caso de uma falha na segurança operacional ou reduzir a exposição humana às consequências de eventuais falhas”.

³ **Procedimentos críticos:** “Um procedimento ou critério utilizado para controle de riscos operacionais”.

Numa breve análise desse recorte do texto do regulamento, percebe-se claramente uma preocupação do regulador com relação a identificar os elementos críticos e que estejam disponíveis, bem como com o seu processo de contingenciamento quando for o caso.

3. METODOLOGIA

3.1. O Acidente de P-20

Para o desenvolvimento desse trabalho, buscou-se um acidente da indústria, onde ocorreram falhas nas barreiras de segurança, de modo a avaliar a tipologia e a gestão dos elementos críticos, comparando com as melhores práticas da indústria.

O acidente de segurança de processos escolhido como estudo de caso foi o ocorrido na plataforma P-20, da Petrobras. Muito pouco se estudou sobre esse acidente e sua correlação com os elementos ou sistemas críticos, e a gestão adequada da sua integridade no sentido de evitar a ocorrência de mesma natureza. Num raro estudo, MELLO et al (2021) elegeu o acidente de P-20 para fazer uma elaboração de um diagrama de *bow tie* do cenário acidental a partir de uma análise preliminar de riscos e fazer inferências sobre a gestão de barreiras da operadora.

A P-20, representada na Figura 5, é uma unidade flutuante de produção, processamento e transferência de óleo e gás do tipo semissubmersível, no campo de produção de Marlim Sul, na Bacia de Campos, explorado pela Petrobras. Teve seu início de operação em 1992, está localizada a 172 km da costa de Macaé e opera a uma lâmina d'água de 620 m, com produção da ordem de 20.000 barris de óleo por dia.



Figura 5- Plataforma P-20 (imagem disponível em Petrobras on Twitter, acesso: 16/04/2023)

No dia 26 de dezembro de 2013 ocorreu um incêndio na área de tanques de produtos químicos da P-20. A ocorrência se deu por um flash seguido de perda de contenção e incêndio por ruptura do tanque de etanol, um dos produtos químicos armazenados na área, que se espalhou pelo deck da plataforma. O inventário entrou em combustão e propagou o incêndio, tendo atingido outros tanques de produtos químicos, provocando derretimento de bombonas e ruptura de cilindros de argônio e danos à instalação. A inflamação teria sido decorrente de trabalho à quente realizado na área. Não houve vítimas nem danos ao meio ambiente. (Brasil, 2018). A Figura 6 mostra o tanque de álcool após o rompimento, fragmentos de cilindros, tambores e bombonas.



Tanque de Etanol após o rompimento



Cilindros explodido após o incêndio



Tonéis e bombonas distorcidos após o incêndio

Figura 6 – Imagens Pós Acidente da P-20 (Brasil, 2018)

Como consequência do rompimento do tanque, o inventário de etanol foi espalhado no deck principal da unidade e entrou em combustão a partir do contato com chama existente.

Com a propagação do incêndio, o inventário dos demais tanques de produtos químicos (desemulsificante, sequestrante de H₂S, anti-incrustante e antiespumante) se acumulou no skid da unidade de produtos químicos e se espalhou para o deck principal da unidade, onde uma área de armazenagem próxima foi atingida. Essa área continha outros produtos inflamáveis e, com o aumento de temperatura, foi ocasionado o derretimento das bombonas (Figura 6) e por consequência o aumento do inventário de combustíveis em chamas, além do rompimento de um cilindro de argônio (Figura 6), causando uma segunda explosão ouvida pela tripulação.

3.1.1 Fatores Causais e Causas Raízes do Acidente de P-20

Os fatores causais⁴ e as causas raízes⁵ do acidente foram determinados a partir das informações coletadas durante a investigação realizada pela ANP, através da utilização do método da árvore de falhas (Figura 7):

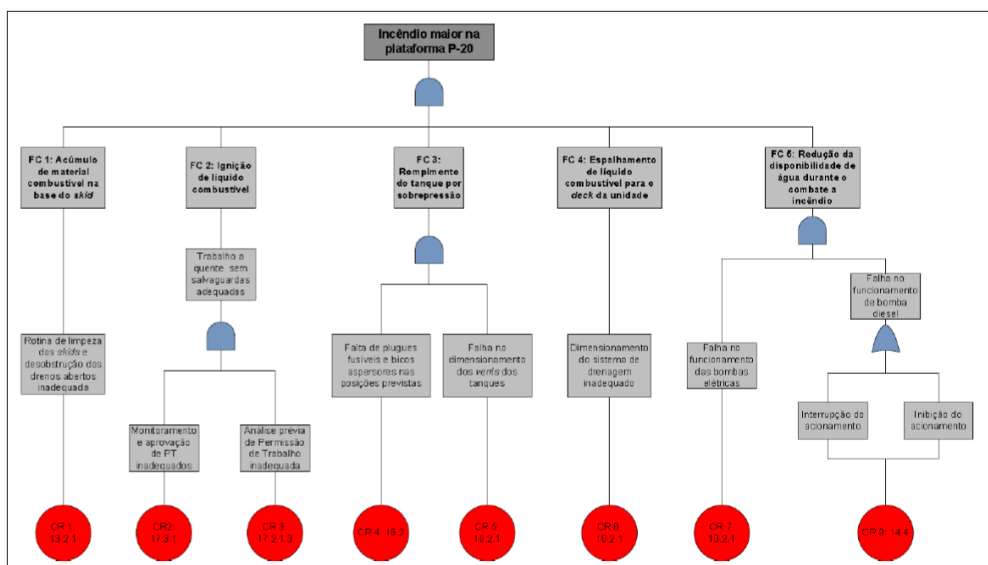


Figura 7 – Árvore de Falhas do Acidente da P-20 (BRASIL, 2018)

⁴ **Fator causal:** É qualquer ocorrência negativa ou condição indesejada que, caso fosse eliminada, evitaria a ocorrência do incidente, ou reduziria sua severidade ou sua frequência.

⁵ **Causa Raiz:** É a razão fundamental, profunda, relacionada à ausência, negligência ou deficiência dos sistemas gerenciais que possibilitaram a ocorrência de falhas de equipamentos/sistemas; e/ou erros humanos determinantes para a ocorrência do incidente investigado. A identificação da causa raiz permite que sejam feitas recomendações para a melhoria do sistema de gestão e que possam bloquear a ocorrência de eventos similares ou de mesma natureza.

A seguir serão detalhadas as causas raízes que contribuíram para a ocorrência do acidente e uma breve descrição de cada uma com base no Relatório da ANP (BRASIL, 2018):

Causa raiz nº 1: Rotina de limpeza dos skids e desobstrução dos drenos abertos inadequada

Foi estabelecida a periodicidade semanal para a atividade de inspeção e limpeza dos skids da plataforma P-20, através da programação do Plano de Manutenção. Foi evidenciado que a execução da tarefa de desobstrução do dreno não estava sendo realizada com a periodicidade definida no Plano de Manutenção.

Causa raiz nº 2: Monitoramento e aprovação da PT inadequados

A falha no processo de aprovação da permissão de trabalho ocorreu quando o operador da instalação não garantiu que tenham sido implementadas as aprovações necessárias ao início da tarefa envolvendo corte e solda, atividades essas que são fontes ignição em local com material inflamável.

Causa Raiz nº 3: Análise prévia da Permissão de Trabalho inadequada

Na análise ambiental integrante da Permissão de Trabalho relativa ao serviço de montagem da base da bomba de anti-incrustante, verificou-se que o item que questionava a existência de “Líquido inflamável” no local, foi assinalado como “NÃO”, o que mostra que a análise ambiental não levou em consideração as características do local de trabalho, uma vez que os skids e as bandejas continham líquidos inflamáveis nas proximidades.

Causa raiz nº 4: Falta de plugues fusíveis e bicos aspersores

Na data do acidente, a área da Unidade de Produtos Químicos contava com 12 plugues fusíveis e bicos aspersores, todos localizados acima do topo dos tanques. Portanto, conforme a avaliação realizada, tal quantitativo era insuficiente de acordo com a normas e códigos utilizados, conferindo uma eficiência reduzida ao sistema.

A ocorrência de incêndio em poça na base do skid demonstrou que a configuração existente do sistema era inadequada para detecção e mitigação do cenário que se desenvolvia, pois o sistema de dilúvio tardou a ser acionado na zona onde ocorria o incêndio, devido à grande distância entre a base do skid e os plugues fusíveis.

Causa raiz nº 5: Falha no dimensionamento dos vents dos tanques

O critério de dimensionamento do sistema de *vent* dos tanques não considerou a carga térmica gerada em caso de fogo, cuja vazão esperada na linha de *vent*, se mostrou superior ao valor de projeto indicando claramente um subdimensionamento do sistema.

Causa raiz nº 6: Cálculo do sistema de drenagem inadequado

“A capacidade do sistema de drenagem deve ser suficiente para lidar com derramamentos de proporções razoáveis, coincidentes com atividades de combate a incêndio e/ou dilúvio. O projeto dos sistemas de drenagem deve possuir margem para contabilizar possíveis bloqueamentos que possam restringir a capacidade do sistema e deve ser projetado de forma a prevenir que combustível em chamas espalhe fogo para outras áreas.” Esses critérios não foram considerados no sistema de drenagem disponível na época.

Causa raiz nº 7: Falha no funcionamento das bombas de incêndio elétricas

A investigação constatou que os cabos elétricos do barramento não possuíam encaminhamento por duas rotas distintas e não eram resistentes a fogo. Então, durante o incêndio, o sistema de distribuição de energia elétrica essencial, que inclui a bomba de incêndio elétrica, ficou indisponível.

Causa raiz nº 8: Falha no funcionamento das bombas de incêndio a diesel

A falha no funcionamento das bombas de incêndio à diesel, possivelmente associada a algumas lacunas na lógica de funcionamento do sistema de combate a incêndio, contribuiu para a redução da disponibilidade de água durante o combate ao incêndio.

O incêndio ocorrido na plataforma P-20, apesar de não ter causado fatalidades ou dano irreversível à unidade, mostrou-se um evento de potencial para tal. A conclusão do órgão regulador (BRASIL, 2018) é que, caso alguns fatores tivessem sido ligeiramente diferentes, o acidente poderia ter tido consequências mais severas. A Tabela 1 resume as barreiras que falharam no acidente da P-20 e a sua correlação com as respectivas causas.

Tabela 1 – Barreiras que falharam e sua Correlação com as Causas Raízes do Acidente (do Autor)

Barreira	Sistema	Elementos	Causa Raiz associada no acidente de P-20
Barreira B5	Sistema de Alívio	Flare, vent, PSVs e demais dispositivos de alívio	Causa raiz nº 5: Falha no dimensionamento dos vents dos tanques
Barreira B6	Sistemas Pós-Liberação/ESD	Sistema automático F&G, Diques de contenção/drenagem, etc	Causa raiz nº 1: Rotina de limpeza dos skids e desobstrução dos drenos abertos inadequada
			Causa raiz nº 6: Cálculo do sistema de drenagem inadequado
			Causa raiz nº 4: Falta de plugues fusíveis e bicos aspersores
Barreira B7	Fontes de ignição	Equipamentos Ex, Superfícies quentes e demais fontes de ignição	Causa raiz nº 2: Monitoramento e aprovação da PT inadequados
			Causa Raiz nº 3: Análise prévia da Permissão de Trabalho inadequada
Barreira B9	Resposta à emergência da instalação	Ações do plano de emergência da instalação (proteção passiva, sistemas de combate a incêndio por CO2, dilúvio, etc)	Causa raiz nº 7: Falha no funcionamento das bombas de incêndio elétricas
			Causa raiz nº 8: Falha no funcionamento das bombas de incêndio a diesel

Vale ressaltar que as causas raízes 2 e 3, acima, não estão relacionadas à SCE e sim à prática de gestão nº 17 do SGSO: Práticas de trabalho seguro e procedimentos de controle em atividades especiais.

3.2. Padrões de Desempenho dos Elementos Críticos de Segurança Operacional

O Regulamento Técnico do Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO) (BRASIL, 2007) apesar de requerer um controle rígido sobre os elementos críticos, não é prescritiva quanto ao desempenho destes componentes das instalações. Nesse sentido, e como relatado anteriormente, cabe aos agentes regulados estabelecerem esse rigor, devendo ser garantida a sua disponibilidade do elemento crítico ou a contingência sobre ele. Em Regulamentos similares no exterior (ENERGY INSTITUTE, 2007; PSA, 2013; WESTERN AUSTRALIAN, 2020), geralmente são exigidas, para um caso típico, a aplicação de metodologias que garantam ou atestem o risco “tão baixo quanto razoavelmente praticável” (ALARP) durante toda a vida útil da instalação.

A gestão de elementos críticos requer altos níveis de confiabilidade dos equipamentos e sistemas robustos e execução competente e consistente de todas as tarefas críticas no sentido de garantir a integridade destes elementos. (HEALY, 2010). Tornou-se uma prática industrial aceita que o método de descrever o que cada SCE individual deve

alcançar seja definido em um "Padrão de Desempenho", que é um documento técnico específico da instalação.

Os padrões de desempenho são, pois, uma declaração formal dos requisitos mínimos que cada elemento crítico deve cumprir, para que atenda aos requisitos de projeto e garantia de desempenho durante toda a vida da instalação. Com essa declaração expressa, se estabelecem parâmetros objetivos para verificar e garantir que estes componentes estejam funcionando corretamente ou não. (CORTINA et al, 2014; DHAR, 2011; ENERGY INSTITUTE, 2007).

Cada padrão de desempenho deve ser desenvolvido segundo alguns critérios ou dimensões a saber (CORTINA et al, 2014; DHAR, 2011; ENERGY INSTITUTE, 2007):

- **Funcionalidade:** É a característica, expressa de forma quantitativa, que garante que ele atue do modo para o qual foi projetado, atendendo com uma capacidade de atendimento definida em projeto. Os SCEs possuem padrões e normas nacionais e internacionais que são utilizadas para projetar os sistemas nas melhores práticas de engenharia. Nesse ponto é importante destacar que a empresa precisa ter gestão sobre duas situações da funcionalidade dos SCEs: A primeira, diz respeito a condição de projeto que deverá ser preservada considerando, também, a evolução das melhores práticas de engenharia e eventuais lacunas surgidas no projeto ao longo tempo. A segunda pelo próprio efeito do tempo que pode interferir no desempenho da funcionalidade tendo em vista a possibilidade de desgaste natural ou obsolescência e necessidade de substituição de componentes e garantia por todo o ciclo de vida da instalação.

- **Disponibilidade:** É a proporção de tempo o elemento será capaz de funcionar. Essa característica diz respeito ao projeto e a confiabilidade dos componentes que, uma vez em operação, e respeitando os limites e práticas operacionais, vão produzir mecanismos de falhas, naturais ou não, que determinarão uma taxa de degradação e o quanto o elemento estará disponível. Redundâncias dos componentes do sistema, para aumentar a disponibilidade, podem ser previstas, bem como práticas de manutenção diferenciadas.

- **Confiabilidade:** É a probabilidade de falha na demanda do elemento crítico. Nessa característica confiabilidade, deverão ser previstas probabilidades de o elemento

desempenhar a função pretendida durante um período especificado e sob condições estabelecidas. Parâmetros como, modo de falha, probabilidade de falha na demanda, tempo médio entre falhas (MTBF), tempo médio pra falha (MTTF), tempo médio para reparo (MTTR), são básicos para definição desse requisito e das respectivas estratégias de manutenção do elemento.

- **Capacidade de Sobrevivência:** A capacidade de sobrevivência é definida como a capacidade de um sistema em cumprir sua função, no tempo devido, e sobreviver aos efeitos e consequências de acidentes na instalação (p.ex.: incêndio ou explosão). A avaliação dessa capacidade determina se o SCE precisa sobreviver ao evento provável como por exemplo, de um incêndio ou uma explosão. Importante destacar que se faz necessário entender e identificar qual a funcionalidade mínima que deve permanecer para que o SCE seja eficaz. Um exemplo clássico dessa característica é o sistema de combate à incêndios que deve ser projetado. Necessário estar disponível durante a ocorrência do cenário acidental, mesmo sujeita a seus efeitos. Nesse sentido, para atingir a requerida capacidade de sobrevivência, importam, localização, resistência de materiais, redundância.

- **Dependência:** Essa característica diz respeito a quaisquer itens de equipamentos ou sistemas em separado, cuja falha reduziria ou anularia a eficácia de um elemento crítico; Dependência possui conceito similar à interação (outra característica dos padrões de desempenho), porém, com o requisito adicional que, para um SCE funcionar adequadamente, depende de outro equipamento ou sistema como por exemplo o sistema de combate a incêndio, em sua bomba de combate a incêndio necessita que, além da bomba propriamente dita, os sistemas de partida, alimentação etc.

- **Compatibilidade / interação:** Essa característica descreve como um SCE pode se relacionar com outro SCE ou sistema da unidade, de modo que um impacto ou alteração de um outro sistema ou equipamento, pode afetar esse SCE, mesmo sendo sistemas distintos.

A Figura 8 apresenta um modelo de padrão de desempenho utilizado pela operadora multinacional italiana Eni para vasos de pressão para o critério de funcionalidade

(CORTINA et al., 2014). Outros modelos de padrões de desempenho podem ser vistos também em outras fontes (WESTERN AUSTRALIAN, 2020).

[INSTALLATION OR PROJECT]		Document Number: XXXXXX	
Document Title: Performance Standard A1.A – Pressurized Hydrocarbon Process Vessels			
Prepared by: XXXXX		Date: XXXXX	Rev: XXXXX
GOAL	The goal of this performance standard is to ensure that all hydrocarbon process vessels shall be designed to prevent loss of containment of their inventory under all operating and emergency conditions.		
SCOPE	This Performance Standard addresses all process vessels containing hydrocarbon process fluids on XXXX The Performance Standard includes filters that contain hydrocarbon process fluids, as these are essentially process vessels.		
FUNCTIONALITY			
Ref.	Function	Criteria	Reference Data Source
A1.A1	To prevent loss of containment during normal operations.	A1.A1.1 Pressurised hydrocarbon process vessels shall be designed, fabricated, inspected and tested according project specifications in order to prevent leaks. A1.A1.2 Design and operating conditions / material specifications shall be defined for all vessels and include pressure ratings, temperatures and fluid service. A1.A1.3 All vessels shall be designed to take into account the corrosion allowance. The corrosion allowance on carbon steel equipment is 3 mm or 6 mm. Where the indicated corrosion allowance exceeds these limits, a corrosion resistant material shall be selected.	
A1.A2	To prevent loss of containment during a process upset.	A1.A2.1 To avoid any loss of containment caused by a process upset resulting in high pressure, the HP/MP and LP Separators, shall be equipped with pressure control systems including the following facilities: - Pressure Transmitter (PT) to monitor the pressure with indication of pre-alarm and alarm to alert the operator of excursions, - PT set at a pressure close to the set pressure of the PSV that opens a Pressure Control Valve to direct gas to flare avoiding the opening of the PSVs, - Dedicated PT with shut down function with very high pressure trip to isolate the vessels from the pressure source. A1.A2.2 Ultimate protection shall be provided by 2 x 100% PSVs on all vessels to avoid overpressurization of the vessel, e.g. from gas blow-by or liquid over-fill. A1.A2.3 Low level control systems, with alarms and trips, and shutdown functions, shall be provided to alert the operator and to isolate the equipment to protect the downstream equipment from gas blow-by.	AK-1 KD-186; Flare & Blowdown and Depressurization Report for Complex D; KE01-B4-000-KD-R-RT-0001-000 KD-357; ESD C&E Chart; ESD 0/1a/1b/2/3; KE01-B4-980-KD-I-HC-5003-000 CODE-6; API 520, Pressure Relieving Devices in Refineries, Part 1 Sizing and Selection CODE-9; API 12 J: Oil and Gas Separators

Figura 8 – Padrão de Desempenho adotado pela Operadora Eni (CORTINA et al., 2014)

Nesse sentido os padrões de desempenho dos elementos críticos se apresentam como uma evolução do modelo de gestão atualmente adotado que foca na disponibilidade sem garantia do seu desempenho. A Figura 9, insere e destaca o papel dos padrões de desempenho no processo de gestão. Nesse trabalho, serão desenvolvidos padrões de desempenho para os elementos críticos que falharam no acidente da plataforma P-20: B5, B6, B9. A barreira B7, em que pese ter sido considerada causa, não será objeto destes desenvolvimentos por estarem associadas ao processo de gestão da permissão para trabalho. Espera-se obter um modelo destes padrões e que possam se constituir como elementos imprescindíveis de gestão de falhas e a minimização do risco das instalações.

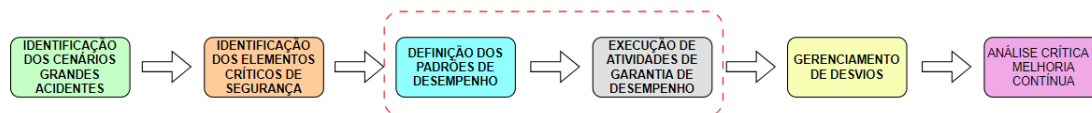


Figura 9 – Modelo de Gestão dos Elementos Críticos, foco desempenho (Adaptado de KAMAL G., 2021)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram considerados os requisitos apresentados no item 3.2 para os padrões de desempenho, a experiência internacional da aplicação desta referência técnica e modelos de padrões disponíveis na literatura (CORTINA et al., 2014; WESTERN AUSTRALIAN, 2020). Foi utilizada como referência o conteúdo da Norma ISO 17776 (2016), que no seu anexo E estabelece um conteúdo mínimo para todos os requisitos dos padrões de desempenho de elementos críticos, permitindo a elaboração – como um potencial documento de projeto da instalação – dos padrões de desempenho das barreiras que falharam no acidente da plataforma P-20. Além disso, foram estabelecidas as definições e condições para operação, manutenção, testes e inspeção durante todo o ciclo de vida da instalação.

Neste trabalho foram desenvolvidos modelos de padrões de desempenho para as seguintes barreiras que falharam no acidente da Plataforma P-20, a saber:

- B5 – Sistema de Alívio: Sistema de alívio por vent atmosférico de produtos combustíveis e inflamáveis
- B6 – Sistemas Pós-Liberação: Sistema de drenagem aberta de área classificada
- B9 – Resposta à Emergência: Rede de Sprinklers e Sistema de Combate à Incêndios por dilúvio.

As Tabelas 2, 3, 4 e 5, abaixo, reúnem os 4 padrões de desempenho desenvolvidos neste trabalho, conforme proposto acima.

Tabela 2 – Padrão de Desempenho – Barreira B5 - Sistema de Alívio

PADRÃO DE DESEMPENHO		Nº: PS-001.2023
Título: Performance Standard 001.2023 – Sistema de alívio por de vent atmosférico de produtos combustíveis e inflamáveis		
Instalação: Plataforma P-20		
Órgão gestor: P-20		Data: 20/03/2023
		Revisão: 0
Objetivo:	Aliviar gases e vapores para locais adequados em condições normais de operação e em casos de incêndio, sem comprometer a integridade do equipamento protegido.	
Escopo	Função de segurança:	Barreira para evitar ruptura por pressurização de equipamentos em casos de enchimento ou incêndio aliviando a fase gasosa para local seguro.
	Outras funções:	Permitir equilíbrio da pressão interna dos tanques nos momentos de enchimento e esvaziamento.
Funcionalidade:	Conceito:	O sistema de alívio para vent atmosférico de produtos combustíveis e inflamáveis deve ser capaz de evitar o escalonamento de um acidente onde há fogo na região do tanque protegido, através de vazão adequada de gases, sem promover a pressurização do tanque. Para os casos em que o fluido do tanque é inflamável/combustível uma perda de contenção no tanque por pressurização poderá escalar o evento de incêndio.
Funcionalidade Disponibilidade Confiabilidade	Garantia de funcionalidade	A garantia de funcionalidade de performance de um sistema de vent é realizado durante seu projeto atendendo as normas API 2000 e API 521. Não é previsto nenhum teste de performance durante operação.
	Verificação periódica do sistema	Deverá haver verificação periódica da situação de limpeza dos corta chamas desse sistema. Esses dispositivos precisam estar íntegros e em boas condições de limpeza.
	Padrão de referência	P-002X – Manutenção e operação do sistema de vent atmosférico de produtos combustíveis e inflamáveis - Verificação das condições de integridade e limpeza dos corta-chamas a cada 2 anos. - Verificação anual do sistema de CO2 associado, conforme NFPA-12 - Verificação do sistema de aterramento e equipontencialidade dos vents.
Confiabilidade	Inspeção	As linhas do sistema de vent de produtos combustíveis e inflamáveis deverão ter planos de inspeção cadastradas no sistema de manutenção, com periodicidades de inspeção definidas conforme P-002X.

Sobrevivência:	A maior parte do sistema de vent é composto de tubulações, o que confere alta capacidade de sobrevivência, em casos de grandes acidentes. O sistema depende essencialmente da execução dos planos de manutenção;
Interações:	O sistema de vent atmosférico de produtos combustíveis e inflamáveis funciona de modo autônomo, sem depender de nenhum outro sistema. A interação com sistema de automação pode estar associada ao disparo de CO2 para abafamento, onde couber.
Dependência:	O sistema de vent atmosférico de produtos combustíveis e inflamáveis, em sua função de segurança não é impactado por outros sistemas da unidade. Desde que corretamente dimensionado, nem mesmo com o sistema por ele protegido, visto que os critérios de dimensionamento para fogo, definem vazões acima de qualquer vazão possível de operação.
Contingenciamento	Contingenciar o sistema de vent atmosférico de produtos combustíveis e inflamáveis é tarefa de extrema dificuldade. No caso de baixas capacidades de escoamento, provocada por entupimentos, o sistema deverá ser paralisado. No caso de diminuições pontuais de capacidade de escoamento, deverá ser avaliada possibilidade de alteração de classe do produto (inflamável por combustível ou combustível por não combustível), instalação de PPCI, redução de inventário etc.
KPI	<i>ICP-SCE</i> (índice de cumprimento de plano de manutenção de equipamentos críticos)
Boas práticas de operação e manutenção	- Plano de manutenção que utilize solventes adequados para limpeza dos corta-chamas. - Projetos com tanques duplos (2 tanques para cada produto), de modo a facilitar execução do plano de manutenção.
Referência Técnica	API 521; API 2000; NR-13; ABNT NBR 17505-2:2015

Tabela 3 – Padrão de Desempenho – Barreira B6
Sistemas Pós-Liberação (Drenagem)

PADRÃO DE DESEMPENHO			Nº: PS-002.2023
Título: Performance Standard 002.2023 – Sistema de drenagem aberta de área classificada			
Instalação: Plataforma P-20			
Órgão gestor: P-20		Data: 20/03/2023	Revisão: 0
Objetivo:	Garantir que os sistemas de drenagem aberta de área classificadas sejam projetados, mantidos, de modo a atender a adequada drenagem de líquidos acumulados no convés, sejam eles líquidos combustíveis, inflamáveis, água de limpeza, dilúvio, chuva ou outros fluidos.		
Escopo	Função de segurança:	Barreira para evitar incêndio em poça em locais com fluidos combustíveis ou inflamáveis	
	Outras funções:	Drenagem de água de chuva e outros fluidos que possam se acumular no convés	
Funcionalidade:	Conceito:	O sistema de drenagem aberta de área classificada deve ser capaz de evitar o escalonamento de um acidente onde o dilúvio da unidade é acionado, e drenar, pelo menos toda a vazão de dilúvio prevista em projeto. É importante que, o fluido inflamável/combustível durante perda de contenção seja devidamente direcionado para local adequado sem saída inesperada em outro local, assim como durante o acionamento do dilúvio, não haja transbordamento de água nos skids e o fluido inflamável/combustível ignitado ou não, seja carregado para outra área.	
Funcionalidade Disponibilidade Confiabilidade	Teste de performance: conceito	Durante o teste de dilúvio do módulo, o sistema de drenagem aberta é capaz de drenar os skids sem acúmulo de água	
	Teste de performance: desempenho (vazão)	Deverá ser medida a vazão de água do dilúvio para confirmar que é a vazão de projeto do sistema de drenagem	
	Teste de performance: desempenho (tempo)	Esse teste deverá ser realizado por ao menos por 60 minutos	
	Teste de efetividade de vazão	Verificar, com o uso de mangueiras com água colocadas em ralos, a efetividade da drenagem de modo qualitativo. Esse teste tem por objetivo avaliar se existe algum entupimento nos ralos	
	Verificação periódica do sistema	Verificar visualmente a condição dos skids de drenagem aberta de área classificada, sem resíduos sólidos ou líquidos, sem material depositado, com ralos limpos, trincanizes íntegras, e sem acúmulo de água.	

	Padrão de referência	P-001X – Manutenção e operação do sistema de drenagem aberta de áreas classificadas: Teste de performance: Anualmente Teste de efetividade de vazão - Semestralmente Verificação periódica do sistema – Mensalmente
Confiabilidade	Inspeção	As linhas do sistema de drenagem aberta de áreas classificadas deverão ter planos de inspeção cadastradas no sistema de manutenção, com periodicidades de inspeção definidas conforme P-001X.
Sobrevivência:	A maior parte do sistema de drenagem aberta é composto de tubulações, o que confere alta capacidade de sobrevivência, em casos de grandes acidentes. O sistema depende essencialmente da execução dos planos de manutenção;	
Interações:	O sistema de drenagem aberta de áreas classificadas funciona de modo autônomo, sem depender de nenhum outro sistema. Nem mesmo o sistema de automação.	
Dependência:	O sistema de drenagem aberta de áreas classificadas, em sua função de segurança é impactado diretamente pelo sistema de dilúvio da unidade. É importante que as vazões de dilúvio, assim como combate a incêndio previsto, mesmo em condições temporárias, estejam compatíveis com o sistema de drenagem aberta.	
Contingenciamento	No caso de baixas capacidades de escoamento em áreas sujeitas à incêndio em poça, provocada por entupimentos, o sistema deverá ser paralisado. No caso de diminuições pontuais de capacidade de escoamento, deverá ser avaliada possibilidade de alteração de modo de combate a incêndio por outro com menor demanda da drenagem aberta, como canhões de espuma. O sistema poderá ser reanalisado quanto à operação de cenários de incêndio em poça impactados pela drenagem. Isso certamente aumentará necessidades de PPCI em algumas áreas.	
KPI	<i>ICP-SCE</i> (índice de cumprimento de plano de manutenção de equipamentos críticos) <i>K-DREN</i>: avaliação de áreas de drenagem totalmente íntegras, quando se leva em conta o cumprimento dos planos de manutenção	
Boas práticas de operação e manutenção	- Plano de inspeção de tubulações utilizando escaladores e drones; - Uso de contratos de desentupimentos de linhas fazendo operações frequentes; - Disciplina operacional sobre limpeza de áreas.	
Referência Normativa:	NFPA 25 - Standard for the Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems ISO 13702 - Petroleum and natural gas industries — Control and mitigation of fires and explosions on offshore production installations — Requirements and guidelines Norsok P-100 - Process systems	

Tabela 4 – Padrão de Desempenho – Barreira B9
Sistemas de Combate à Incêndios (Rede de Sprinklers)

PADRÃO DE DESEMPENHO		Nº: PS-003.2023
Título: Performance Standard 003.2023 – Sistema de combate a incêndio por dilúvio (rede de sprinklers)		
Instalação: Plataforma P-20		
Órgão gestor: P-20		Data: 20/03/2023 Revisão: 0
Objetivo:	Nos casos de incêndio, detectar e conduzir a água de combate a incêndio, para a região afetada, distribuindo de forma adequada, conforme parâmetros de projeto.	
Escopo	Função de segurança:	Promover o resfriamento da área afetada por um incêndio, de modo a extinguir ou controlar o sinistro, durante o consumo de inventário de material combustível/ inflamável.
	Outras funções:	-
Funcionalidade Disponibilidade Confiabilidade	Teste de performance: conceito	Durante o teste de dilúvio do módulo, o sistema deverá ser capaz de molhar todos os equipamentos, com cones de jato livres e adequados para cada equipamento protegido.
	Teste de performance: desempenho (vazão)	Deverá ser medida a vazão de água do dilúvio para confirmar que é a vazão de projeto do sistema para aquela área
	Teste de performance: desempenho (tempo)	O tempo medido entre a remoção do fusível plug e o início do dilúvio deve ser atendido conforme padrão P-003X – Manutenção e operação do sistema de combate a incêndio por dilúvio
	Demais parâmetros medidos	Número de bicos obstruídos; tempo de abertura das ADVs, pressão no bico mais desfavorável, e demais parâmetros da ficha de acompanhamento do padrão P-003X– Manutenção e operação do sistema combate a incêndio por dilúvio
	Padrão de referência	P-003X – Manutenção e operação do sistema de combate a incêndio por dilúvio - Manutenção e teste da ADV a cada 6 meses. - Teste molhado do sistema conforme NFPA-20 e padrão citado
Confiabilidade	Inspeção	As linhas do sistema de combate a incêndio por dilúvio deverão ter planos de inspeção cadastradas no sistema de manutenção, com periodicidades de inspeção definidas conforme P-003X.
Sobrevivência:	Para que haja o funcionamento do sistema durante uma emergência, além do cumprimento das manutenções no sistema e na bomba de combate a incêndio, é importante que o projeto preveja trajetos de	

	linhas do anel de incêndio abrigadas de possíveis colisões, que possam interromper o circuito. As linhas de combate a incêndio possuem ainda como característica o projeto em anel. A manutenção e integridade das válvulas de interligação e bloqueio do anel também devem constar nos planos de manutenção, para permitir recurso alternativo nos casos de indisponibilidade do encaminhamento principal.
Interações:	O sistema combate a incêndio por dilúvio possui grande interação com sistema de drenagem. É importante que as vazões de dilúvio, assim como combate a incêndio previsto, mesmo em condições temporárias, estejam compatíveis com o sistema de drenagem aberta.
Dependência:	Por conta da complexidade e importância do sistema, houve a divisão em sistema de combate a incêndio por dilúvio e sistema de bombas de combate a incêndio. O sistema de combate a incêndio por dilúvio não depende de outros sistemas, a menos do sistema de bombas de combate a incêndio.
Contingenciamento	Para contingenciar deficiências do sistema de combate a incêndio por dilúvio, será necessário utilizar outros meios de extinção, com uso de canhões monitores e canhões portáteis, além da diminuição de inventários de hidrocarbonetos, parando e drenando sistemas e equipamentos para adequar o cenário de combate a incêndio.
KPI	<i>ICP-SCE</i> (índice de cumprimento de plano de manutenção de equipamentos críticos) K-DIL – KPI que mede cumprimento integral da adequação do dilúvio das áreas. Bicos obstruídos, vazões ou pressões nos bicos, mesmo dentro da tolerância, reduzem pontuação.
Boas práticas de operação e manutenção	- Teste molhado com limpeza das linhas e bicos. - Bicos de sprinklers sobressalentes
Referência Técnica	NFPA 15 - Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection NFPA 25 - Standard for the Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems

Tabela 5 – Padrão de Desempenho – Barreira B9
Sistemas de Combate à Incêndios por dilúvio (BCIs)

PADRÃO DE DESEMPENHO		N°: PS-004.2023
Título: Performance Standard 004.2023 – Sistema de combate a incêndio por dilúvio (BCIs)		
Instalação: Plataforma P-20		
Órgão gestor: P-20	Data: 20/03/2023	Revisão: 0
Objetivo:	Nos casos de incêndio, detectar e conduzir a água de combate a incêndio, para a região afetada, distribuindo de forma adequada, conforme parâmetros de projeto.	
Escopo	Função de segurança:	Promover o resfriamento da área afetada por um incêndio, de modo a extinguir ou controlar o sinistro, durante o consumo de inventário de material combustível/ inflamável.
	Outras funções:	-
Funcionalidade Disponibilidade Confiabilidade	Teste de performance: conceito	Durante o dilúvio do cenário dimensionante, o sistema deverá ser capaz de molhar todos os equipamentos, com pressões e vazões conforme projeto.
	Teste de performance: desempenho (vazão)	Deverá ser medida a vazão de água da bomba em diversos cenários de vazão, de modo que sua curva atenda ao projeto original, de acordo com NFPA-20.
	Demais parâmetros medidos	Medição dos demais parâmetros da BCI, conforme NFPA-20
	Padrão de referência	- P-004X – Manutenção, teste e operação de BCIs - NFPA-20 - Manutenção e teste da BCI, conforme NFPA-20 anualmente a cada 6 meses. - Teste semanal de funcionamento
Confiabilidade	Manutenção preventiva	As BCI's possuem diversos planos de manutenção de Elétrica, Mecânica e Instrumentação, de modo a garantir o correto funcionamento da bomba e todos os demais componentes que constituem esse sistema (sistema de partida manual, sistema hidráulico, sistema de alimentação elétrica etc.)
Interações:	As BCIs do sistema de combate a incêndio por dilúvio não possuem interação relevante com outros sistemas, a menos do próprio sistema de dilúvio por sprinklers. É importante que as vazões de dilúvio, assim como combate a incêndio previsto, mesmo em condições temporárias, estejam compatíveis com o sistema de drenagem aberta.	
Dependência	Por conta da complexidade e importância do sistema, houve a divisão em sistema de combate a incêndio por dilúvio e sistema de bombas de combate a incêndio.	

	A menos das BCIs tipo elétrica, o sistema de combate a incêndio por dilúvio não depende de outros sistemas, a menos do sistema de bombas de combate a incêndio. As BCIs elétricas dependem do sistema de geração de emergência da UEP e sistema de distribuição de energia elétrica de emergência e seus componentes.
Contingenciamento	É obrigatório de projeto haver capacidade sobressalente de atendimento através de BCI reservas. Essa capacidade usualmente pode ser de 50 a 100%. Sendo assim, desde que a vazão dimensionante esteja atendido, o sistema se mantém em segurança. Nesses casos, onde a capacidade reserva de BCI está ausente ou diminuída, deverão ser tomadas medidas de rotina de manutenção para aumentar a confiabilidade da(s) BCI(s) restante(s). Para contingenciar deficiências das BCIs do sistema de combate a incêndio por dilúvio, será necessário adequar o sistema existentes através da diminuição de inventários de hidrocarbonetos, parando e drenando sistemas e equipamentos para adequar o cenário de combate a incêndio de modo que o cenário dimensionante seja adequado.
KPI	<i>ICP-SCE</i> (índice de cumprimento de plano de manutenção de equipamentos críticos) K-BCI – KPI que mede cumprimento integral das BCIs. Incluindo pendências não impeditivas dos planos de manutenção.
Boas práticas de operação e manutenção	- Cumprimento integral dos planos de manutenção - Limpeza das captações das bombas
Ref. Normativa	NFPA 25 - Standard for the Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems NFPA 20 - Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection

Tal como um típico documento de engenharia, os padrões de desempenho devem possuir um campo de identificação com controle de revisões e, sequencialmente, todos os requisitos característicos. Esses padrões possuem caráter didático, e foram mantidas associações entre os testes requeridos para garantir os resultados e a função do padrão de desempenho associada. Há ainda informação de desempenho esperado (KPI) e considerações gerais sobre a função de segurança e o contingenciamento quando for o caso.

4.1. Aplicação dos Padrões de Desempenho às Causas do Acidente da P-20

Considerando a proposta de padrões de desempenho apresentada, além do aprimoramento que se alcança com esta visão de desempenho dos SCEs, e considerando que o acidente de P-20 foi resultado da falha de várias barreiras da instalação, uma hipotética aplicação

desses conceitos seria suficiente para evitar ou minimizar as consequências do acidente ocorrido em P-20? Que aprendizado que pode ser obtido da aplicação desses conceitos quando se considera o contexto atual da indústria no que tange à segurança de processos?

Para tentar responder essa indagação, foram reanalisadas cada uma das causas do acidente de P-20 e identificada a característica do padrão de desempenho que falhou e que, se aplicado devidamente, poderia ter evitado ou minimizado as consequências do acidente:

Causa Raiz 1 - Rotina de limpeza dos skids e desobstrução dos drenos abertos: A falha na sistemática de manutenção do sistema de drenagem da área de Produtos Químicos da P-20, incorreu na indisponibilidade do sistema quando houve a necessidade de escoar os produtos vazados antes e durante o acidente. Normas que definem critérios para sistemas de drenagem, preveem a elaboração de manual de operação para esses sistemas de modo a atender critérios de manutenção para manter a disponibilidades destes. Caso os padrões de manutenção e inspeção do sistema de drenagem tivessem sido adequadamente elaborados e executados, seria possível evitar os desdobramentos do acidente ocorrido na plataforma P-20. Falhas na concepção do projeto, que deveria atentar para a localização dos pontos de dreno aberto, oferecendo maior disponibilidade para os equipamentos mais críticos, deveriam ter sido levados em consideração. Além do dimensionamento do próprio sistema de dreno, que não comportava o escoamento dos produtos vazados, nem o fluxo de água do sistema de dilúvio quando acionado, demonstrando normas específicas que trata dos critérios de projeto para sistemas de drenagem do assunto (NORSOK, 2010). A norma é explícita e estabelece que sistemas de drenagem devem ser projetados de modo a suportar água da chuva, água de incêndio, água de lavagem, derramamento de líquidos e sólidos, gotejamento de equipamentos e áreas delimitadas. O não atendimento adequado a essas diretrizes de projeto impactou na **funcionalidade e disponibilidade** do sistema de drenagem da área de produtos químicos da P-20.

Causa Raiz 4 - Falta de bicos aspersores: As alterações decorrentes do projeto de modificação da unidade de produtos químicos definiram a instalação de novos bicos aspersores que não foram instalados no campo. Trata-se de uma modificação associada à implantação de projeto durante a fase de operação. E a ausência desses bicos afetou a **funcionalidade** do dilúvio nesse local, diminuindo assim a quantidade de água necessária

durante o incêndio. O dilúvio não cumpriu a função de segurança de combate a incêndio na região dos tanques de produtos químicos conforme o que preconiza norma específica que rege o assunto (NFPA-15, 2021). Percebe-se que apenas através de uma verificação *as built* da instalação, com avaliação dos documentos de projeto poderia identificar a ausência desses bicos, obviamente considerando uma degradação já instalada.

Causa Raiz 5 - Falha no dimensionamento dos vents dos tanques: A investigação do acidente concluiu que foi desconsiderado o critério fogo externo para dimensionamento dos vents dos tanques de produtos químicos, incluindo o tanque de etanol. Os vents dos tanques deveriam estar dimensionados atendendo os critérios em normas específicas (API 2000, 2020; ABNT, 2022; Brasil, 2018). O não atendimento aos critérios normativos impactou na **funcionalidade** do tanque de etanol e demais tanques de produtos químicos, levando a ruptura do tanque de etanol quando exposto ao fogo externo, aumentando a proporção do incêndio.

Causa Raiz 6 - Cálculo do sistema de drenagem inadequado: Foi identificado que a vazão de drenagem dos tanques e produtos químicos, analisada durante execução de projeto de modificação na fase de operação da unidade, era inferior ao necessário para atender à demanda de escoar o fluido inflamável no caso de vazamento. Essa degradação afetou a **funcionalidade** do sistema e, portanto, a barreira de segurança não funcionou a contento durante o incidente. Apenas uma verificação *as built* da instalação, com avaliação dos documentos de projeto às normas específicas (NFPA 25, 2022; ISO 13702, 2015; NORSOK, 2010), poderiam identificar essa deficiência de vazão da drenagem.

Causa raiz 7 - Falha no funcionamento das bombas de incêndio elétricas: Essa falha ocorreu em virtude da queima de cabos do barramento elétrico, além do encaminhamento desses cabos não serem resistente a fogo. Entende-se que isso nos remete a **capacidade de sobrevivência** da instalação, quanto a resistir em condições severas, isso deve ser avaliado ainda na fase de projeto, a fim de garantir a funcionalidade do sistema em condições severas. A NFPA 20 (2021), menciona que as bombas elétricas devem ter suas fontes de alimentação protegidas contra exposição a riscos dentro das instalações contra danos a incêndio, além de possuir uma outra fonte de energia reserva independente.

Causa raiz 8 - Falha no funcionamento das bombas de incêndio a diesel: Avaliando essa causa, identificou-se uma série de situações, como **disponibilidade**, uma vez que houve uma falha no dimensionamento da unidade, em se considerando a abertura das ADV em conjunto, não atuando adequadamente em operação. Outro ponto importante a destacar foi a falta de **funcionalidade**, não existe registro que comprovem se as bombas a diesel partiram e não se sabe ao certo quais dessas partiram ou não, ou se algumas dessas após a partida, deixaram de funcionar, isso em virtude da falha no supervisão, por conta da queda do barramento, perdeu o sinal. A NFPA 20 (2021), menciona que os motores a diesel, devem parar por sobrepressão, sobrevelocidade e temperatura.

A Tabela 6 resume essa análise, correlacionando as causas do acidente da plataforma P-20 com os critérios dos padrões de desempenho que poderiam identificá-las e eliminar a possibilidade de ocorrência ou minimizar suas consequências.

Tabela 6 – Causas x Critérios dos Padrões de Desempenho que poderiam identificá-las

Acidente de Processo – Plataforma P-20				
Causa Raiz	Fase Ciclo de Vida da Instalação	Critério do Padrão de Desempenho	Como seria diagnosticado	
Causa Raiz nº 1: Rotina de limpeza dos skids e desobstrução dos drenos abertos inadequada.	Operação	Disponibilidade	Manutenção	Rotina de manutenção dos drenos adequada, atendendo a uma lista de tarefas mínimas a serem cumpridas.
Causa Raiz 4: Falta de bicos aspersores.	Operação	Funcionalidade	Verificação de projeto	verificação <i>as built</i> da instalação, com avaliação dos documentos de projeto
Causa Raiz nº 5: Falha no dimensionamento dos vents dos tanques.	Projeto	Funcionalidade	Verificação de projeto	verificação <i>as built</i> da instalação, com avaliação dos documentos de projeto
Causa Raiz nº 6: Cálculo do sistema de drenagem inadequado.	Operação	Funcionalidade	Verificação de projeto	verificação <i>as built</i> da instalação, com avaliação dos documentos de projeto
Causa Raiz nº 7: Falha no funcionamento das bombas de incêndio elétricas.	Projeto	Capacidade de Sobrevivência	Verificação de projeto	verificação <i>as built</i> da instalação, com avaliação dos documentos de projeto do encaminhamento dos cabos elétricos de alimentação das bombas.
Causa Raiz nº 8: Falha no funcionamento das bombas de incêndio à diesel.	Projeto	Funcionalidade /Disponibilidade	Verificação de projeto	Verificação da lógica de funcionamento das bombas.

4.2. Padrões de Desempenho e o Novo Padrão Regulatório

Como rapidamente destacado no item 2.3 deste trabalho, o atual regulamento técnico brasileiro do sistema de gerenciamento de segurança operacional das instalações marítimas de perfuração e produção de petróleo e gás natural, quando da sua concepção, priorizou, na prática de gestão nº. 11 de Elementos Críticos de Segurança Operacional, a identificação, a disponibilidade e o contingenciamento desses componentes da instalação. Essa visão, embora tenha representado um marco regulatório importante, se mostrou, ao

longo do tempo, insuficiente e defasada perante a legislação e experiência internacional (CORTINA et al, 2014; WESTERN AUSTRALIAN, 2020; NORSOK S-001, 2021, ISO 17776). Para tentar cobrir essa lacuna, o órgão regulador passou, ao longo do tempo, a incentivar sistemática de autodiagnósticos e auditorias de barreiras (BRASIL, 2022) focando na verificação do desempenho das barreiras quanto a sua função de segurança. Essa prática sinaliza para os agentes regulados uma evolução da forma de gerir as barreiras de segurança, garantindo que, antes de tudo, se cumpra a função para a qual foi concebida e não sua existência por si só.

Com esse aprendizado, e a necessidade de modernização da legislação, o órgão regulador apresentou, no curso do desenvolvimento desse trabalho, o texto da minuta de Consulta e Audiência Pública Nº. 28/2022 (BRASIL, 2022), para obter subsídios e informações adicionais sobre o regime de segurança operacional para as instalações de exploração e produção (E&P) de petróleo e gás natural, e aprovar um novo regulamento técnico do sistema de gestão da segurança operacional (SGSO).

Nesse sentido o novo texto é bem explícito na intenção de se requerer a garantia da integridade, a funcionalidade e a aderência às especificações de projeto dos Elementos Críticos de Segurança Operacional durante todo o ciclo de vida. Apresentar o instrumento dos padrões de desempenho figura já presente em diversos regulamentos internacionais.

Eis um recorte da minuta para a prática de gestão nº.11 (BRASIL, 2022):

...

11.3 Padrão de Desempenho de Elemento Crítico de Segurança Operacional

11.3.1 Estabelecer Padrão de Desempenho alinhado a padrões, códigos, normas e outras melhores práticas da indústria para cada Elemento Crítico de Segurança Operacional, incluindo:

- a) características essenciais e funções dos Elementos Críticos de Segurança Operacional;*
- b) requisitos de **verificação periódica da funcionalidade**, examinando a capacidade de o Equipamento ou o Sistema Crítico de Segurança Operacional atuar conforme especificação de projeto;*

- c) requisitos de **verificação periódica da integridade, garantindo a disponibilidade e a confiabilidade** do equipamento ou do Sistema Crítico de Segurança Operacional atuar quando demandado; e
- d) requisitos de **verificação periódica de vulnerabilidade**, garantindo o funcionamento sob cargas externas decorrentes de uma grande emergência e as dependências com outros Elementos Críticos de Segurança Operacional.

11.4 Verificação dos Elementos Críticos de Segurança Operacional

11.4.1 Designar responsável por garantir a funcionalidade, a disponibilidade e a confiabilidade de cada Elemento Crítico de Segurança Operacional, com conhecimento e autonomia para executar o seu controle.

11.4.2 Estabelecer procedimento para Verificação de Elementos Críticos de Segurança Operacional que inclua:

- a) periodicidade da verificação;
- b) conhecimentos e habilidades necessários para o executor da verificação;
- c) classificação da condição de Falha, falta ou degradação do Elemento Crítico de Segurança Operacional;
- d) registro do resultado da verificação; e
- e) comunicação imediata ao nível gerencial adequado e ao responsável pelo Elemento Crítico de Segurança Operacional quando identificada a condição de Falha, falta ou degradação

A Figura 12 resume as etapas do processo de gestão esperado para o novo regulamento. Duas delas já presentes no atual regulamento (BRASIL, 2007) e as duas acrescentadas e destacadas– Padrão de desempenho e Verificação – como o novo enfoque no desempenho dos elementos críticos.

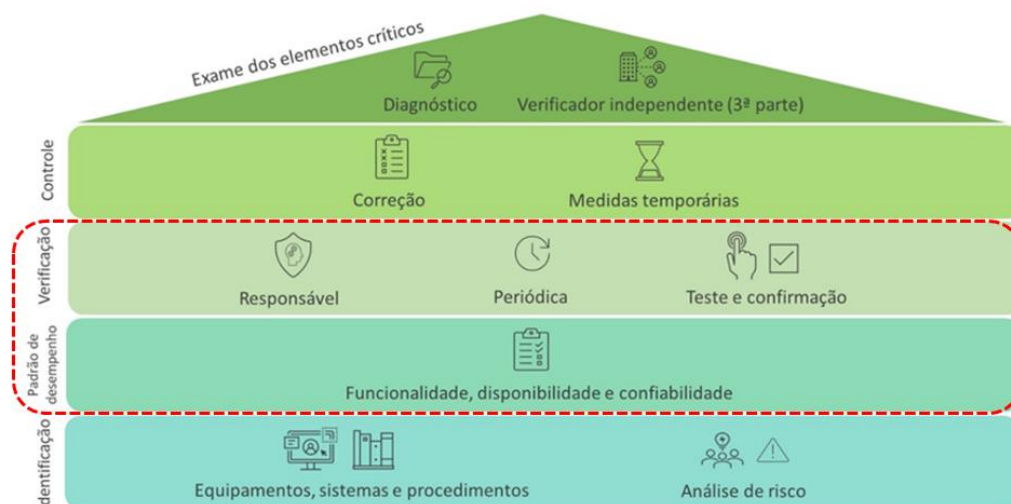


Figura 12 – Fundamentos da Prática 11 de Elementos Críticos – Novo SGSO
(Fonte: BRASIL, 2022)

Nesse sentido, quando se analisa o que ocorreu durante o acidente de P-20, observa-se que a maior parte das causas raízes estão associadas a problemas não plenamente conhecidos do projeto da unidade ou decorrentes de modificações realizadas, cujos critérios deveriam ser analisados pelo viés de projeto, seja pelo dimensionamento do sistema de vent, da drenagem ou bicos aspersores, seja pelo modo de funcionamento das bombas de combate a incêndio ou sistema essencial da unidade, conforme elencados nos padrões de desempenho propostos nesse trabalho. Isso remete a uma necessidade de avaliação com um alcance muito mais profundo do que a atual legislação SGSO preconiza, e não ocorreu tempestivamente nas auditorias temáticas ocorridas.

Sendo assim, sem nenhum julgamento de valor sobre responsabilidades da operadora definidas em todo arcabouço da legal vigente à época, pode-se afirmar que as diretrizes SGSO definidas no Regulamento ANP 43/2007, não possuem envergadura para evitar um acidente similar a P-20, visto que o foco de atuação é que o operador identifique elementos críticos em suas análises de riscos, e no caso de uma conhecida indisponibilidade, outro recurso similar deva ser implementado.

Essa visão é reforçada pela proposta do novo Regulamento Técnico SGSO que está em consulta pública, cujas bases remetem aos conceitos de padrão de desempenho de

elementos críticos, alinhados às melhores práticas internacionais, e que traz uma visão integral do cumprimento da função de segurança durante o ciclo de vida da instalação.

Mais do que isentar qualquer empresa de suas atuais responsabilidades de operação das instalações, é importante ficar claro que estabelecer um regulamento técnico obrigatório, cujas bases estabelecem critérios mais claros de desempenho das barreiras de segurança, impulsiona positivamente o sistema de gestão de segurança de cada unidade no caminho da excelência operacional.

5. CONCLUSÕES

Esse trabalho se propôs a estudar o acidente da plataforma P-20 (BRASIL, 2018) que revelou uma série de falhas associadas a barreiras de segurança e ao processo de gestão de segurança de processo da instalação.

Nesse sentido, permitiu extrair as seguintes conclusões:

- ✓ O esforço da sociedade, da indústria e dos órgãos reguladores na prevenção de grandes acidentes industriais deve ser contínuo na medida que a história da indústria de processos continua sendo marcada por eles.
- ✓ Grandes acidentes (do inglês MHAs – *Major Hazards Accidents*) são eventos não planejados com potencial para se desenvolver com várias fatalidades ou danos graves às instalações, envolvendo a liberação de substâncias químicas perigosas. A partir das análises de risco, resultam os elementos críticos ou barreira de segurança e sobre os quais, um processo de gestão específico deve ser desenvolvido.
- ✓ O acidente da plataforma P-20, foi resultado da perda de contenção de etanol na área destinada ao armazenamento de produtos químicos, o qual, da análise, foram percebidas falhas latentes nas barreiras de segurança, tanto pela inadequação ao cenário do acidente, como pela manutenção da condição de integridade das barreiras da forma como foi concebida.
- ✓ No âmbito regulatório, a prática de gestão de elementos críticos instituída pela Resolução no. 43/2007 tem um foco voltado para a identificação e disponibilidade

dos elementos críticos não focando no risco associado nem no desempenho que cada componente possa executar enquanto barreira de segurança.

- ✓ Por outro lado, a legislação internacional em vigor tem um olhar dedicado e específico sobre as barreiras associadas aos cenários de grandes acidentes industriais focando no desempenho que possam produzir; o conceito de padrões de desempenho aplicado às barreiras se constitui instrumento regulatório já consagrado pela aplicação em diversos países e jogam luz no acompanhamento das barreiras desde a concepção e na garantia de sua função durante todo o ciclo de vida da planta.
- ✓ Padrões de desempenho, são, pois, um conjunto de parâmetros (funcionalidade, disponibilidade, confiabilidade etc.) pelos quais os elementos ou barreiras críticas podem ser avaliados para garantir que estejam reduzindo o risco de grandes acidentes industriais. Os Padrões de Desempenho fornecem uma referência para medir, monitorar e testar a eficácia de um elemento ou barreira e identificar a necessidade de ação corretiva ou contingenciá-los, durante todo o ciclo de vida da instalação.
- ✓ Neste trabalho foram desenvolvidos modelos de PSs para as barreiras que falharam no acidente da plataforma P-20 e destacados os requisitos que, se atendidos, poderiam suprir a condição de falha da barreira e evitar o acidente ou minimizar suas consequências.
- ✓ Com uma análise mais aprofundada, é possível inferir que à luz da atual legislação do SGSO e da sua aplicação corrente, quando se prioriza a disponibilidade dos elementos críticos ao invés do foco no seu desempenho, não seria capaz de, sozinho, evitar acidentes similares.
- ✓ A aplicação aqui estudada é um *case* alinhado aos propósitos da legislação nacional (BRASIL, 2022) que está por vir, na medida que a recente proposta de regulamentação acena com a adoção dos padrões de desempenho no seu conteúdo evoluindo no conceito de além da disponibilidade e promovendo um viés de na garantia da funcionalidade e desempenho dos SCEs.

- ✓ Portanto, o trabalho cumpriu os objetivos geral e específicos a que se propôs, na medida da revisão bibliográfica realizada e identificação, na literatura internacional, da boa prática da utilização dos padrões de desempenho na gestão dos elementos críticos, e a aplicação dos referidos padrões nas barreiras que falharam no acidente da plataforma P-20, além de correlacionar com a regulamentação atual e futura do setor.

6. REFERÊNCIAS

ABNT, NBR 17505-2:2022 - Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 2: Armazenamento em tanques, em vasos e em recipientes portáteis, 2022

AICHe/CCPS, **Layer of Protection Analysis – Simplified Process Risk Assessment**, American Institute of Chemical Engineers, CCPS, 1ª. Edition, 2001.

AICHe/CCPS, **Diretrizes para Segurança de Processos Baseado em Risco**, Editora Interciência, 1ª. Edição, 2014.

API - AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API RP 754**: Process Safety Performance Indicators for the Refining and Petrochemical Industries. API, Houston, 2016.

API - AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, **API 2000**, API STANDARD 2000, *Venting Atmospheric and Low-pressure Storage Tanks*, Seventh Edition, 2020

BRASIL, Agência Nacional de Petróleo, **Resolução, Relatório de Investigação de Incidente, Plataforma P-20**, Março/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: 1 de mar. 2023.

BRASIL, Agência Nacional de Petróleo, **Resolução Nº 43/2007**, Institui o Regime de Segurança Operacional para as Instalações de Perfuração e Produção de Petróleo e Gás Naturale aprova o Regulamento Técnico do Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO).. Disponível em: <http://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/gerenciamento-de-seguranca-operacional-sgso>. Acesso em: 3 de jan. 2023.

BRASIL, Agência Nacional de Petróleo, **NOTA TÉCNICA Nº 4/2022/SSM-CSO/SSM/ANP-RJ**, define critérios mínimos a serem levados em consideração durante a elaboração de Autodiagnóstico/Auditoria de Barreiras. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/arq/nota-tecnica-ssm-cso-4-2022.pdf> Acesso em: 3 de jan. 2023.

BRASIL, Agência Nacional de Petróleo, **Consulta e Audiência Pública Nº 28/2022**, Obter subsídios e informações adicionais sobre a minuta de resolução que dispõe sobre o regime de segurança operacional para as instalações de exploração e produção (E&P) de petróleo e gás natural e aprova o regulamento técnico do sistema de gestão da segurança operacional (SGSO). Disponível em: [https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/consultas-e-audiencias-publicas/consulta-audiencia-publica/consulta-e-audiencia-publicas-28-2022#:~:text=Obter%20subs%C3%ADdios%20e%20informa%C3%A7%C3%B5es%20adicionais,da%20seguran%C3%A7a%20operacional%20\(SGSO\).](https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/consultas-e-audiencias-publicas/consulta-audiencia-publica/consulta-e-audiencia-publicas-28-2022#:~:text=Obter%20subs%C3%ADdios%20e%20informa%C3%A7%C3%B5es%20adicionais,da%20seguran%C3%A7a%20operacional%20(SGSO).) . Acesso em: 3 de jan. 2023.

Brasil, **PORTARIA MTB Nº 1.082 DE 18 DE DEZEMBRO DE 2018**, Altera a Norma Regulamentadora nº 13 (NR-13) - Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulação, 2018.

Cortina, M., Pavli, E., Antinolfi, G., La Rosa, L., Rainaldi, I., Petrone, A., **An Overarching Strategy For Safety Critical Elements Assessment And Management**, Society of Petroleum Engineers SPE 168437, 2014

DHAR, R. **Performance Standards for Safety-Critical Elements—Are We Doing Enough?**. Society of Petroleum Engineers SPE 140727, 2011.

ENERGY INSTITUTE, **Guidelines for the management of safety critical elements**, 2007

HEALY, J.A., **Engineering Asset Management and Infrastructure Sustainability, Proceedings of the 5th World Congress on Engineering Asset Management (WCEAM 2010), Safety Critical Elements in Asset**, 347-357, 2010.

HOLLNAGEL, E., **Risk + barriers = safety?**, Safety Science, 46, 221-229, 2008.

KAMAL, G., **Assurance and Verification of Safety Critical Elements in Asset Management**, International Petroleum Technology Conference, IPTC-21452-MS, 2021.

KLETZ, T., **What Went Wrong?** Case histories of process plant disasters and how they could have been avoided, Fifth Edition, 2009.

ISO 13702, International Standard, **Petroleum and natural gas industries — Control and mitigation of fires and explosions on offshore production installations — Requirements and guidelines**, Second Edition, 2015

ISO 17776, International Standard, **Petroleum and natural gas industries — Offshore production installations — Major accident hazard management during the design of new installations**, Second Edition, 2016

MELLO, A. L. C. P, Thomaz, D. M., Garcia, G. P., Silva, L. P., Pedrosa, N., R., **Uso de Ferramenta de Gestão de Barreiras na Investigação de Incidente de Segurança de Processos**, Trabalho de Conclusão de Curso, Pós-graduação de Segurança de Processos, SENAI/CETIQT, Turma 5, 2021

NFPA 15, **Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection**, 2022 Edition, 2021.

NFPA 20, **Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection**, 2022 Edition, 2021.

NFPA 25, **Standard for the Inspection, Testing and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems**, 2023 Edition, 2022.

NORSOK P-100, **Process Systems**, Norsok Standard, Edition 3, 2010

NORSOK S-001, **Technical Safety**, Norsok Standard, 2021

PETROBRAS. Norma Técnica Petrobras N-2595: Critérios de Projeto, Operação e Manutenção de Sistemas Instrumentados de Segurança em Unidades Industriais, rev. D, 2015.

PETROBRAS. Apresentação: PETROBRAS recebe ABRISCO – Gestão de Barreiras, 2020. 17 Slides. Disponível em: http://www.abrisco.com.br/novo/noticias-de-interesse/noticias-gerais/item/download/10_13d8cca8264fa6c8c40d69a87f8b7210.html. Acesso em: 15 abr. 2023.

PITBLADO, R., FISCHER, M., NELSON, B., FLOTAKER, H., MOLAZEMI, K., STOKKE, A., **Concepts for dynamic barrier management**. J. Loss Prev. Process Ind., 43, 741-746, 2016.

PSA, 2013. **Principles for Barrier Management in the Petroleum Industry**. from Norway Petroleum Safety Authority: Available in: www.ptil.no., Acesso July 2023

REASON, J. **Managing the Risks of Organizational Accidents**. Ashgate Publishing Limited, UK, 1997.

SKLET, S. **Safety Barriers: Definition, classification, and performance**. J. Loss Prev. Process Ind., 19, 494-506, 2006.

VENKATASUBRAMANIAN, V., **Systemic Failures: Challenges and Opportunities in Risk Management in Complex Systems**, AIChE Journal, Vol 57 (1), pp 2-9, 2011.

WESTERN AUSTRALIA, **Petroleum safety and major hazard facility – guide, Major accident events, control measures and performance standards**, February, 2020. Disponível em: <https://www.dmp.wa.gov.au/Documents/Safety/Major-accident-events-control-measures-and-performance-standards.pdf> Acesso em: 06 july. 2023.

YUAN, S., YANG, M., RENIERS, G., CHEN, C., WU, J., **Safety barriers in the chemical process industries: A state-of-the-art review on their classification, assessment, and management**, Safety Science, 148, pp. 1-17, April 2022.