

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA

Gabriel da Costa Saldanha da Gama de Paiva Coelho
Gustavo Silveira Lannes de Camargo



ACIDENTE NA PLATAFORMA P-19
UMA AVALIAÇÃO DA GESTÃO DE SEGURANÇA DE
PROCESSOS SOB A ÓTICA DO MODELO RBPS

RIO DE JANEIRO

2025

Gabriel da Costa Saldanha da Gama de Paiva Coelho
Gustavo Silveira Lannes de Camargo

ACIDENTE NA PLATAFORMA P-19
UMA AVALIAÇÃO DA GESTÃO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS SOB A ÓTICA
DO MODELO RBPS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau Engenheiro Químico

Orientador: Carlos André Vaz Jr.

Rio de Janeiro
2025

CIP - Catalogação na Publicação

C172a Camargo, Gustavo Silveira Lannes de
 ACIDENTE NA PLATAFORMA P-19: UMA AVALIAÇÃO DA
 GESTÃO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS SOB A ÓTICA DO
 MODELO RBPS / Gustavo Silveira Lannes de Camargo.
 -- Rio de Janeiro, 2025.
 112 f.

 Orientador: Carlos André Vaz Junior.
 Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
 Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de
 Química, Bacharel em Engenharia Química, 2025.

 1. RBPS. 2. Sistemas de Gestão de Segurança. 3.
 Dióxido de Carbono. 4. Plataforma P-19. 5. Segurança
 de Processos. I. Junior, Carlos André Vaz , orient.
 II. Título.

Gabriel da Costa Saldanha da Gama de Paiva Coelho

Gustavo Silveira Lannes de Camargo

ACIDENTE NA PLATAFORMA P-19
UMA AVALIAÇÃO DA GESTÃO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS SOB A ÓTICA
DO MODELO RBPS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Química da Universidade Federal do
Rio de Janeiro, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do grau de Engenheiro
Químico

Aprovado em 08 de Julho de 2025.

Carlos André Vaz Júnior, D. Sc., Escola de Química - UFRJ

Chaline Detoni, D. Sc, Escola de Química - UFRJ

Karina Moita de Almeida, D. Sc, Escola de Química - UFRJ

Rio de Janeiro
2025

AGRADECIMENTOS – GABRIEL DA C. SALDANHA DA G. DE P. COELHO

A conclusão deste trabalho representa, mais do que o encerramento de uma etapa acadêmica, mas a realização de um ciclo de vida, marcado por desafios, superações e conquistas. Chegar até aqui, à possibilidade de obter o grau de engenheiro químico, foi um sonho construído com muito esforço, resiliência e determinação. Se hoje encerro essa jornada, levo comigo as memórias de cada momento — das dificuldades, mas, sobretudo, das alegrias, dos aprendizados e das parcerias que tornaram esse caminho possível.

Agradeço, com todo meu amor e gratidão, à minha mãe, Clénia, pelo apoio incondicional, pela dedicação e por ser meu alicerce em todos os momentos. Ao meu pai, Roberto, que, mesmo não estando fisicamente presente, esteve comigo em cada passo, guiando-me e me fortalecendo. Realizar este sonho é também honrar o desejo que ele sempre teve: me ver formado, primeiro em um dos melhores colégios e, agora, em uma das maiores universidades do país.

Às minhas avós, Clélia e Elizabeth, que, com amor, cuidado e ensinamentos, foram fundamentais na minha formação pessoal e na construção dos valores que levo comigo. À minha madrinha, Dinda Elza, que, desde a minha infância, me inspirou com seus relatos de viagens pelo mundo, despertando em mim a curiosidade, o interesse pelo conhecimento e a vontade constante de aprender.

Estendo meus agradecimentos aos meus primos Maria e Bernardo, aos meus tios Maurício, Denise e Paulo, ao meu padrasto Maurício e meu tio-avô Luiz, que estiveram presentes em toda a minha trajetória, oferecendo apoio, incentivo e carinho nos momentos em que mais precisei.

Aos meus amigos de toda uma vida — Henrique, Enzo, Adriano, Guilherme, Hélio, Bruninho, Marco, Lucas, Claro e Aaron —, companheiros desde os tempos de colégio, minha eterna gratidão pela amizade, pelas conversas, pelas risadas e por caminharmos juntos durante todos esses anos. Àqueles que a universidade me presenteou — Gustavo, Júlia, Letícia e Tigo —, levo não só a parceria nas disciplinas e nos desafios acadêmicos, mas também a certeza de que nossa amizade transcende os muros da UFRJ. Foram vocês que tornaram essa jornada mais leve, divertida e, sem dúvida, muito mais significativa.

Agradeço especialmente ao professor Carlos André Vaz Junior, pela orientação precisa, pela paciência e pela dedicação durante todo o desenvolvimento deste trabalho. Seu conhecimento e disponibilidade foram fundamentais para que este projeto atingisse o nível de qualidade esperado.

Por fim, expresso minha sincera gratidão à Universidade Federal do Rio de Janeiro e à Escola de Química, que foram muito mais do que instituições de ensino, foram espaços de transformação, de crescimento pessoal e profissional, que me prepararam para os desafios que virão e me permitiram sonhar cada vez mais alto.

AGRADECIMENTOS – GUSTAVO SILVEIRA LANNES DE CAMARGO

Gostaria de agradecer primeiramente ao professor Carlos André Vaz Junior por ter aceitado nos orientar. Ao longo desses meses, sua ajuda foi fundamental para o desenvolvimento do trabalho. Por meio de seu constante apoio e compartilhamento de seus conhecimentos, foi possível desenvolver esse estudo com carinho e atenção.

Ao meu núcleo que, sem eles, nada disso seria possível. Ao meu pai e mãe, Yuri e Danielle, que instigaram em mim não só a vontade de estudar e aprender cada dia mais, mas também a coragem e determinação de não desistir e entrar na maior faculdade do Rio de Janeiro. Agradecimento especial também a seus parceiros, Jessica e Antônio, que transformaram não só a vida dos meus pais, mas também a minha. A minha irmã e melhor amiga, Gabriela, que sem ela e seu apoio incondicional eu não sei onde estaria.

Não poderia deixar de agradecer as minhas avós, Neusa e Vera, que nutrem um carinho sem igual por todos os seus netos e que, por meio desse amor incondicional, pude chegar aonde estou e me tornar não só um estudante, mas um ser humano que possa dar orgulho a elas.

Aos meus amigos de faculdade Enzo, Guilherme, Gabriel, Letícia, Tigo, Julia e Bruninho que, apesar de não terem feito parte da maioria das minhas matérias, transformaram a faculdade em um ambiente muito mais leve e que me desse muito mais vontade de estar.

Aos meus amigos da vida toda Samuel, Guima e Caio, sem vocês e a nossa amizade mais que improvável eu não teria sido tão feliz nos meus primeiros anos de vida e hoje não teria a certeza de ter irmãos que posso contar a qualquer hora.

Aos meus amigos que estiveram presentes comigo ao longo de 10 bons anos no colégio Diego, Fabrício, Luiz, Lucas, Rapha, Luísa, Joana, entre muitos outros, agradeço por terem servido de exemplo para minha formação como ser humano e por terem rido de todas as minhas piadas sem graça.

Por fim, mas não menos importante, agradecer à instituição UFRJ e à Escola de Química, que me definiram como universitário e permitiram alçar voos cada vez maiores.

RESUMO

COELHO, Gabriel C. S. G. P.; CAMARGO, Gustavo S. L.. **Acidente na Plataforma P-19 Uma Avaliação da Gestão de Segurança de Processos sob a Ótica do Modelo RBPS**. Rio de Janeiro, 2025. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Engenharia Química - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

Este trabalho tem como objetivo analisar o acidente ocorrido na plataforma P-19 da Petrobras, no qual o acionamento espúrio de um sistema de combate a incêndio por gás carbônico levou um trabalhador a óbito. A análise foi realizada sob a perspectiva do modelo denominado *Risk-Based Process Safety* (RBPS), em tradução livre “Sistema de Gestão de Segurança de Processos Baseado em Risco”, desenvolvido pelo *Center for Chemical Process Safety* (CCPS), em tradução livre “Centro de Segurança de Processos Químicos”. A análise é estruturada a partir dos quatro pilares do modelo – comprometimento com a segurança, compreensão de perigos e riscos, gestão de riscos e aprendizado com a experiência – os quais são desdobrados em 20 elementos fundamentais para a estruturação de um sistema de gestão eficaz. A metodologia utilizada permitiu a identificação das deficiências presentes na gestão da segurança de processos da instalação, evidenciando falhas organizacionais, técnicas e culturais que contribuíram para o evento. Com base nessa avaliação, são apresentadas sugestões de como a adoção prévia e estruturada do modelo RBPS poderia ter mitigado os riscos, prevenido o acidente e promovido maior confiabilidade operacional. A discussão inclui ainda uma contextualização sobre sistemas de combate a incêndio e seus componentes, além de normas pertinentes no setor. O estudo contribui para reforçar a importância da cultura de segurança e da gestão integrada de riscos como elementos centrais para a prevenção de acidentes industriais de grande porte.

Palavras-chave: RBPS. Sistemas de Gestão de Segurança. Dióxido de Carbono. Plataforma P-19. Segurança de Processos.

ABSTRACT

COELHO, Gabriel C. S. G. P.; CAMARGO, Gustavo S. L.. **Accident on Platform P-19 An Evaluation of Process Safety Management from the Perspective of the RBPS Model.** Rio de Janeiro, 2025. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Engenharia Química - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

This study aims to analyze the accident that occurred on Petrobras' P-19 platform, in which the inadvertent activation of a carbon dioxide fire suppression system resulted in the death of a worker. The analysis was conducted from the perspective of the Risk-Based Process Safety (RBPS) management model, developed by the Center for Chemical Process Safety (CCPS). It is structured around the model's four pillars — commitment to process safety, understanding of hazards and risks, risk management, and learning from experience — which are further broken down into 20 fundamental elements for building an effective management system. The methodology used enabled the identification of deficiencies in the process safety management of the facility, highlighting organizational, technical, and cultural failures that contributed to the event. Based on this assessment, suggestions are presented on how the structured and proactive adoption of the RBPS model could have mitigated the risks, prevented the accident, and improved operational reliability. The discussion also includes a contextualization of fire suppression systems and their components, relevant industry standards, and the reasons why carbon dioxide is considered a hazardous agent in fire protection systems. This study reinforces the importance of a strong safety culture and integrated risk management as central elements in the prevention of major industrial accidents.

Keywords: RBPS. Safety Management Systems. Carbon Dioxide. P-19 Platform. Process Safety.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Quantitativo de incidentes offshore em 2023	21
Figura 2 - FAR em instalações de exploração e produção offshore de 2013 a 2023	22
Figura 3 - Matriz 5x5 - Níveis de Riscos.....	23
Figura 4 - Pilares da metodologia RBPS e seus elementos associados.	24
Figura 5 –Triângulo do fogo (à esquerda) e do Tetraedro do fogo (à direita).....	41
Figura 6 - Evolução do Incêndio	42
Figura 7 - Sprinkler modelo ESFR Viking VK510	44
Figura 8 - Uso do LGE no combate a incêndio	45
Figura 9 - Esquemático de sistema de combate a incêndio por CO ₂	51
Figura 10 - Cilindros de CO ₂	52
Figura 11 - Esquema Válvula dos Cilindros de CO ₂	52
Figura 12 - Esquema de Cilindro Piloto + Comando Elétrico para Sistemas Fixos de CO ₂	53
Figura 13 - Esquema de Válvula Direcional + Comando Elétrico para Sistemas Fixos de CO ₂	54
Figura 14 - Válvula Lockout para Sistemas Fixos de CO ₂	55
Figura 15 - Placa de sinalização para Sistemas Fixos de CO ₂	56
Figura 16 - Giroflex e alto-falante de sistema de incêndio.....	57
Figura 17 - Difusor de CO ₂ do tipo "Copo"	58
Figura 18 - Mapa de Localização da P-19 na Bacia de Campos	61
Figura 19 - Foto parcial da sala dos cilindros de CO ₂	64
Figura 20 - Esquemático do sistema de CO ₂ da P-19.....	64
Figura 21 - Tapete com indicação da rota de fuga da sala dos EMD's	66
Figura 22 - Conjunto de alarmes de CO ₂ e geral da plataforma.....	66
Figura 23 - Aspersor de CO ₂ na sala dos EMD's	67
Figura 24 - Árvore de falhas do acidente	69
Figura 25 - Corte árvore de falhas do acidente - 1º Fator Causal.....	70
Figura 26 - Foto da parte externa da sala de baterias de CO ₂	72
Figura 27 - Planta baixa da sala dos cilindros de CO ₂	72
Figura 28 - Terminais elétricos e componentes internos da válvula direcional e micro switch	73
Figura 29 - Lista de verificação trimestral de banco de baterias da Instalação	77
Figura 30 - Corte árvore de falhas do acidente - 2º Fator Causal.....	78
Figura 31 - PTRE da tarefa na sala da bateria de cilindros de CO ₂	80
Figura 32 - Análise preliminar de perigos nível 1 (APN-1) na data do acidente	81
Figura 33 - Questionário presente na PT da Operadora	83

Figura 34 - Análise ambiental presente na PT da Operadora	83
Figura 35 - Sinalização de advertência para interior dos ambientes protegidos	84
Figura 36 - Sinalização de advertência externas dos ambientes protegidos.....	85
Figura 37 - Entrada da sala de motogeradores sem placa de sinalização	85
Figura 38 - Equipamentos dos alarmes de CO ₂ (vermelhos) e de emergência na sala dos motogeradores diesel auxiliares da P-19	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de Incêndio x Métodos de extinção	43
Tabela 2 - Gases inertes	48
Tabela 3 - Gases Ativos	49
Tabela 4 - Concentrações de CO ₂ para extinção - Principais combustíveis	59
Tabela 5 - Efeitos na saúde de altas concentrações de dióxido de carbono	60
Tabela 6 - Informações gerais da plataforma P-19	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AICHE	American Institute of Chemical Engineering
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Combustíveis
API	American Petroleum Institute
APN	Análise preliminar de perigos
APR	Análise Preliminar de Riscos
BP	British Petroleum
CBMERJ	Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro
CBMSC	Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina
CCPS	Center for Chemical Process Safety
CFC	Clorofluorcarbonetos
CFR	Code of Federal Regulations
CO2	Dióxido de Carbono
CSB	Chemical Safety Board
EMD	Emergency Diesel Generator
EPA	Environmental Protection Agency
ESG	Environmental, Social, and Governance
FAR	Fatal Accident Rate
FPSO	Floating Production, Storage and Offloading
FTA	Fault Tree Analysis
HAZID	Hazard Identification
HAZOP	Hazards and Operability
HIRA	Hazard Identification and Risk Assessment
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IEC	International Electrotechnical Commission
INSAG	International Nuclear Safety Group
IP	Ingress Protection Code
IRF	International Regulators Forum
ISO	International Organization for Standardization
KPI	Key Performance Indicator
LGE	Líquido Gerador de Espuma

LTM	Lista de Tarefas de Manutenção
LV	Lista de Verificação
MOC	Management of Change
NBR	Norma Brasileira
NFPA	National Fire and Protection Agency
NOAEL	No Observed Adverse Effect Level
NOX	Número de Oxidação
NR	Norma Regulatória
OSHA	Occupational Safety and Health Organization
ONU	Organização das Nações Unidas
P-19	Plataforma Petrobras 19
PDI	Programa de Descomissionamento de Instalações
PSM	Process Safety Management System
PT	Permissão de Trabalho
PTRE	Permissão para Trabalho Rotineiro Específico
RBPS	Risk Based Process Safety
REVIT	Revitalização dos Campos de Marlim e Voador
SGSO	Sistema de Gestão de Segurança Operacional
SGS	Sistemas de Gestão de Segurança
SISO	Sistema Integrado de Segurança Operacional

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVO.....	19
3 SISTEMA DE GESTÃO DE SEGURANÇA	19
3.1 SEGURANÇA DE PROCESSO	19
3.2 SEGURANÇA DE PROCESSO BASEADA EM RISCO (RBPS)	22
3.2.1 Comprometimento com a Segurança de Processos	25
3.2.1.1 Cultura de Segurança de Processos	25
3.2.1.2 Conformidade com Padrões e Normas	27
3.2.1.3 Competência em Segurança de Processos	28
3.2.1.4 Envolvimento da Força de Trabalho	28
3.2.1.5 Proximidade aos Stakeholders	28
3.2.2 Compreensão de Perigos e Riscos	29
3.2.2.1 Gestão do Conhecimento do Processo.....	29
3.2.2.2 Identificação de Perigos e Análise de Riscos	30
3.2.3 Gestão dos Riscos.....	31
3.2.3.1 Procedimentos Operacionais	31
3.2.3.2 Procedimentos de Trabalho Seguro	32
3.2.3.3 Integridade e Confiabilidade dos Equipamentos	32
3.2.3.4 Gestão de Trabalhadores Contratados	33
3.2.3.5 Treinamento e Garantia de Desempenho.....	34
3.2.3.6 Gestão da Mudança (Management of Change - MOC).....	34
3.2.3.7 Prontidão para a Operação.....	35
3.2.3.8 Condução das Operações	35
3.2.3.9 Gestão da Emergência	36
3.2.4 Aprendizado com a Experiência	36
3.2.4.1 Investigação de Acidentes	36
3.2.4.2 Métricas e Indicadores	37
3.2.4.3 Auditoria	38
3.2.4.4 Revisão de Gestão e Melhoria Contínua	38
4 SISTEMA DE COMBATE A INCÊNDIO.....	40
4.1 CLASSIFICAÇÃO DOS INCÊNDIOS	42
4.2 MÉTODOS DE EXTINÇÃO	43

4.3 SISTEMA FIXO DE COMBATE A INCÊNDIO POR CO ₂	51
5 ACIDENTE PLATAFORMA P-19.....	61
5.1 DESCRIÇÃO DA PLATAFORMA P-19	61
5.1.1 Descrição do Sistema de Combate a Incêndio com CO₂ na Plataforma P-19.....	63
5.1.2 Estruturação da Sala dos EMD's.....	65
5.2 CRONOLOGIA DE EVENTOS	67
5.3 ÁRVORE DE FALHAS DO EVENTO	68
5.3.1 Falha no projeto da sala de cilindros de CO ₂	71
5.3.2 Falha na Inspeção e Teste	75
5.3.3 Falha na avaliação dos perigos na PT.....	79
5.3.4 Falha na comunicação dos Riscos	84
5.3.5 Falha em treinamento e conscientização	86
5.3.6 Falha no Projeto.....	87
6 ANÁLISE DO ACIDENTE SOB A ÓTICA DO RBPS	89
6.1 CULTURA DE SEGURANÇA DE PROCESSO	89
6.2 CONFORMIDADE COM PADRÕES E NORMAS	90
6.3 COMPETÊNCIA EM SEGURANÇA DE PROCESSO.....	91
6.4 GESTÃO DO CONHECIMENTO DE PROCESSOS	92
6.5 IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS E ANÁLISE DE RISCOS (HIRA)	93
6.6 PRÁTICAS DE TRABALHO SEGURAS.....	94
6.7 INTEGRIDADE E CONFIABILIDADE DOS EQUIPAMENTOS	95
6.8 GESTÃO DE TRABALHADORES CONTRATADOS	96
6.9 TREINAMENTO E GARANTIA DE DESEMPENHO.....	96
6.10 GESTÃO DE MUDANÇAS	97
6.11 GESTÃO DA EMERGÊNCIA	98
6.12 INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES	99
6.13 REVISÃO DE GESTÃO E MELHORIA CONTÍNUA	100
7 CONCLUSÃO.....	101
8 REFERÊNCIAS.....	104

1 INTRODUÇÃO

A exploração “offshore” de petróleo e gás natural, ou seja, em ambientes marinhos, tem origem no contexto de busca por fontes energéticas além das reservas em terra firme. O início dessa atividade ocorreu nos Estados Unidos, especificamente no Golfo do México, na década de 1940, onde foram desenvolvidas as primeiras plataformas marítimas em águas rasas. Por meio do progresso tecnológico, viabilizou-se a operação em águas profundas e ultra profundas, permitindo o avanço para áreas mais distantes da costa e com maior complexidade operacional (SANTOS, 2014).

A partir do desenvolvimento de novas tecnologias, como plataformas semissubmersíveis, sistemas de ancoragem de alta resistência, sensores sísmicos 3D e técnicas de perfuração direcional, foi possibilitada a expansão do setor *offshore* globalmente. Eventos geopolíticos como os choques do petróleo na década de 1970 também contribuíram para tornar viável economicamente a produção em ambientes mais desafiadores. Dessa forma, regiões como o Mar do Norte (Reino Unido e Noruega), o Golfo do México, a costa da África Ocidental (com destaque para Angola e Nigéria) e o Sudeste Asiático passaram a se consolidar como centros de produção *offshore* (SPEIGHT, 2014).

Atualmente, o setor vem enfrentando desafios ligados à transição energética e às pressões ambientais. O acidente ocorrido na plataforma Deepwater Horizon, em 2010, no Golfo do México, foi um marco trágico e transformador para a indústria. A explosão, a qual causou 11 mortes e vazou milhões de barris de petróleo no oceano, evidenciou falhas críticas na gestão de riscos e desencadeou uma série de mudanças regulatórias em nível global (BOEM, 2011). Após esse evento, houve um aumento significativo na adoção e aprimoramento dos Sistemas de Gestão de Segurança (SGS), que passaram a ser considerados essenciais para prevenir acidentes, mitigar impactos ambientais e proteger trabalhadores.

Os SGS no setor *offshore* envolvem uma abordagem sistemática para identificar, avaliar e controlar riscos operacionais, integrando aspectos técnicos, humanos e organizacionais. Normas como a ISO 45001 (gestão de saúde e segurança ocupacional) e a API RP 75 (práticas recomendadas de segurança operacional para instalações *offshore*) tornaram-se referência para empresas e agências reguladoras. Ademais, práticas de cultura de segurança, auditorias internas, simulados de emergência e monitoramento contínuo de riscos foram incorporadas de forma mais estruturada às operações (LIMA; TELES, 2022).

No contexto brasileiro, a exploração *offshore* teve início nos anos 1970, sendo o principal polo de desenvolvimento da produção de petróleo no mar a Bacia de Campos. A

Petrobras consolidou-se como uma das empresas líderes mundiais em tecnologia de exploração em águas profundas a partir dos anos 1980 e 1990, o que foi crucial para o avanço do setor no país (MIRANDA; AMARAL, 2017). Contudo, o crescimento acelerado da atividade *offshore* brasileira exigiu também a evolução das políticas e estruturas de segurança operacional.

A descoberta do pré-sal em 2006 e a expansão da produção em águas ultra profundas trouxeram novos desafios logísticos, tecnológicos e ambientais, aumentando a complexidade dos riscos envolvidos. Por isso, o Brasil vem reforçando suas normas e fiscalizações por meio de órgãos como a ANP, a Marinha do Brasil e o IBAMA, exigindo das operadoras a implementação de SGS robustos, com planos de emergência, análise de riscos e controle de integridade das instalações (ANP, 2022). A Petrobras, por exemplo, desenvolveu seu próprio sistema de gestão integrado com foco em saúde, meio ambiente e segurança, chamado SGSO, como resposta aos riscos intrínsecos das operações offshore.

Além das exigências legais, fatores reputacionais e de governança têm pressionado ainda mais as empresas a adotarem práticas seguras e transparentes. Investidores e *stakeholders* vêm exigindo maior conformidade com critérios ESG (*Environmental, Social and Governance*), nos quais a segurança operacional é um componente essencial. Dessa forma, os SGS passaram a ser não apenas instrumentos técnicos de controle, mas também parte estratégica da gestão de riscos corporativos e da imagem institucional das empresas do setor (SANTOS; LIMA, 2023).

Em síntese, o setor *offshore* é um dos pilares da produção energética global e nacional, e o Brasil destaca-se como um dos líderes na exploração em águas profundas. Entretanto, a complexidade das operações exige cada vez mais a integração de tecnologias avançadas com sistemas eficazes de gestão de segurança. O histórico internacional e os aprendizados decorrentes de acidentes graves tornaram evidente que a segurança não pode ser tratada como um aspecto secundário, mas sim como eixo estruturante de toda a cadeia produtiva *offshore*.

Dentre as inúmeras plataformas construídas pela empresa, cabe ressaltar a P-19. A Plataforma P-19 é uma unidade *offshore* semissubmersível da Petrobras, localizada no Campo de Marlim, na Bacia de Campos, a aproximadamente 179 km da costa de Macaé, Rio de Janeiro. A plataforma será objeto de estudo ao longo do trabalho, havendo maiores descrições sobre sua estrutura e modelo de gerência.

Ao longo do trabalho, alguns termos relacionados à gestão de segurança serão utilizados, entre eles: Incidentes e Acidentes. Nos termos da Resolução ANP nº 882/2022:

Incidente: é a ocorrência que cause ou tenha potencial de causar poluição ou danos ao meio ambiente ou à saúde humana, prejuízos materiais ao patrimônio próprio ou de terceiros

ou interrupção das operações da instalação, sendo, portanto, considerados incidentes os quase acidentes e os acidentes.

Acidente: é a ocorrência que resulte em poluição ou danos ao meio ambiente ou à saúde humana, prejuízos materiais ao patrimônio próprio ou de terceiros ou interrupção das operações da instalação.

O presente trabalho tem como objetivo analisar o acidente ocorrido na plataforma em questão, na qual o sistema de combate a incêndio por gás carbônico da sala dos motogeradores a diesel ativou de maneira incorreta, pondo em risco quatro funcionários que estavam presentes no local, levando um deles a óbito.

A análise será realizada segundo a óptica de um dos modelos de gestão de segurança existentes, criado pelo *Center for Chemical Process Safety* (CCPS) em 2008, o *Risk Based Process Safety* (RBPS). O modelo é composto por 4 pilares fundamentais, cada pilar contendo elementos específicos, totalizando 20. O sistema preza que os 20 elementos devem estar em harmonia e em bom funcionamento para que haja uma eficaz gestão de segurança.

O capítulo 3 tem por objetivo traçar um contexto histórico para o desenvolvimento da gestão de segurança de processos, evidenciando modelos existentes que podem ser utilizados, com ênfase no modelo RBPS. Além disso, possui explicação detalhada dos pilares do modelo e dos seus respectivos elementos.

O capítulo 4 disserta sobre sistemas de combate a incêndio, enumerando os tipos de incêndio, como são combatidos, os equipamentos necessários e normas relevantes. É dada maior importância ao combate a incêndio por gás carbônico devido ao tema do trabalho, descrevendo todo o sistema de forma minuciosa.

O capítulo 5 é uma análise crítica do relatório da ANP sobre o acidente, publicado em 2023, além de reflexões sobre as investigações realizadas. Ele aborda mais detalhadamente a estrutura da plataforma, árvore de falhas do acidente e suas possíveis causas.

O capítulo 6 relaciona o acidente ao RBPS conectando os elementos do modelo às possíveis causas do acidente. Por meio dele, torna-se evidente quais foram os elementos deficientes na gestão de segurança da plataforma, indicando de que maneiras seria possível reduzir a possibilidade de eventos semelhantes no futuro.

2 OBJETIVO

Analisar, por meio do modelo de gestão de segurança RBPS, o acidente ocorrido na plataforma da Petrobras P-19. A partir da análise, indicar quais elementos do sistema de gestão foram deficientes e de que forma poderiam ter sido aplicados caso a operadora aderisse ao modelo.

3 SISTEMA DE GESTÃO DE SEGURANÇA

3.1 SEGURANÇA DE PROCESSO

A ANP (Agência Nacional do Petróleo), em 2007, define Segurança Operacional como “A prevenção, mitigação e resposta a eventos que possam causar acidentes que coloquem em risco a vida humana ou o meio ambiente, em Instalações Marítimas de perfuração e produção de petróleo e gás natural, através da adoção de um Sistema de Gestão que assegure a integridade das Instalações durante todo o seu ciclo de vida.” Nesse contexto, é possível equipará-la à definição de Segurança de Processo. Essa é uma metodologia organizada para gerenciamento da integridade de sistemas operacionais e processos que lidam com substâncias perigosas (BAYBUTT, 2014).

Inicialmente, o CCPS define como perigo toda condição física ou química com potencial de causar danos às pessoas, à propriedade ou ao meio ambiente, independente do grau de severidade aplicado na situação. Nesse sentido, a definição de substâncias perigosas provém de quaisquer líquidos, gases ou sólidos que ponham em risco a saúde ou a segurança dos envolvidos ao redor, como exposto pela *European Agency for Safety and Health at Work* (EU OSHA), em tradução livre “Agência Europeia para a Segurança e a Saúde no Trabalho”. Os produtos perigosos são classificados pela Organização das Nações Unidas (ONU) como apresentado abaixo:

- Classe 1 – Explosivo;
- Classe 2 – Gases;
- Classe 3.1 – Líquidos inflamáveis, ponto de fulgor abaixo de -18°C ;
- Classe 3.2 – Líquidos inflamáveis, ponto de fulgor entre -18°C e 23°C ;
- Classe 3.3 – Líquidos inflamáveis, ponto de fulgor entre 23°C e 61°C ;
- Classe 4.1 – Sólidos inflamáveis;
- Classe 4.2 – Substâncias que podem sofrer combustão espontânea;
- Classe 4.3 – Substâncias que, em contato com água, liberam gases inflamáveis;
- Classe 5.1 – Agentes oxidantes;

- Classe 5.2 – Peróxidos orgânicos;
- Classe 6.1 – Substâncias tóxicas;
- Classe 6.2 – Substâncias infecciosas;
- Classe 7 – Substâncias radioativas;
- Classe 8 – Substâncias corrosivas;
- Classe 9 – Substâncias perigosas variadas;
- NR – Não reguladas.

Diferente da abordagem da segurança ocupacional, que foca em perigos que podem resultar em problemas de saúde (quedas, tropeços, entre outros), a segurança de processo foca na prevenção e mitigação de perigos que podem resultar na liberação de químicos ou energia (HSE, 2015). Perigos esses que podem potencialmente gerar sérios impactos, incluindo perda de vidas humanas, danos ambientais, perda de ativos e da produção (KHAN et al., 2016).

O crescimento da relevância da temática da Segurança de Processo ocorreu ao longo do século 20, onde uma série de evoluções tecnológicas causaram um aumento nos perigos e riscos aos quais plantas industriais estavam sujeitas (MACZA, 2008). Acidentes com repercussões internacionais como Flixborough (Reino Unido, 1974), Seveso (Itália, 1976), Bhopal (Índia, 1984) e Piper Alpha (Escócia, 1988) fizeram com que governos e agências reguladoras comesçassem a estabelecer o que é hoje conhecido como *Process Safety Management* (PSM), em tradução livre “Gestão de Segurança de Processos”.

Exemplos mais recentes de ocorrências com grandes perdas como o acidente da refinaria na cidade do Texas em 2005 e o acidente no Golfo do México da Deepwater Horizon em 2006 trouxeram uma visibilidade maior para a necessidade de uma PSM. Para o primeiro caso, a ocorrência de uma explosão deixou 15 mortos e mais de 100 feridos, enquanto para o segundo foram derramados mais de 100 milhões de barris de petróleo. Ambos trouxeram um reconhecimento por parte da indústria de óleo e gás de que tecnologia de segurança de processos por si só, desassociada a uma PSM, não seria capaz de prevenir incidentes catastróficos.

Com o aumento do grau de importância dado ao tema e com a evolução da regulamentação no setor, novos padrões e diretrizes relacionados à PSM foram desenvolvidos. Alguns exemplos são a OSHA 29 CFR 1910.119 (*Occupational Safety and Health Administration*) com foco na segurança ocupacional e a API RP 750 com ênfase no ambiente *offshore*, ambas idealizadas nos Estados Unidos. Já na Europa, é possível citar a Diretiva “Seveso”, com três versões atualmente e voltada para a prevenção, controle e resposta a acidentes industriais graves que envolvem substâncias perigosas.

Nacionalmente, o relatório anual de segurança da ANP, de 2024, traz um panorama mais recente em um contexto brasileiro e *offshore*. A Figura 1 fornece uma visão dos tipos de acidentes mais reportados ao longo do ano de 2023 em plataformas marítimas presentes em solo brasileiro. Nele é possível notar que, as plataformas de produção e os poços marítimos foram responsáveis por 1.459 incidentes, correspondendo a cerca de 79% do total de ocorrências offshore registradas. Os demais incidentes estão relacionados a outras estruturas, como sondas marítimas de perfuração, sistemas submarinos e embarcações de apoio (ANP, 2024).

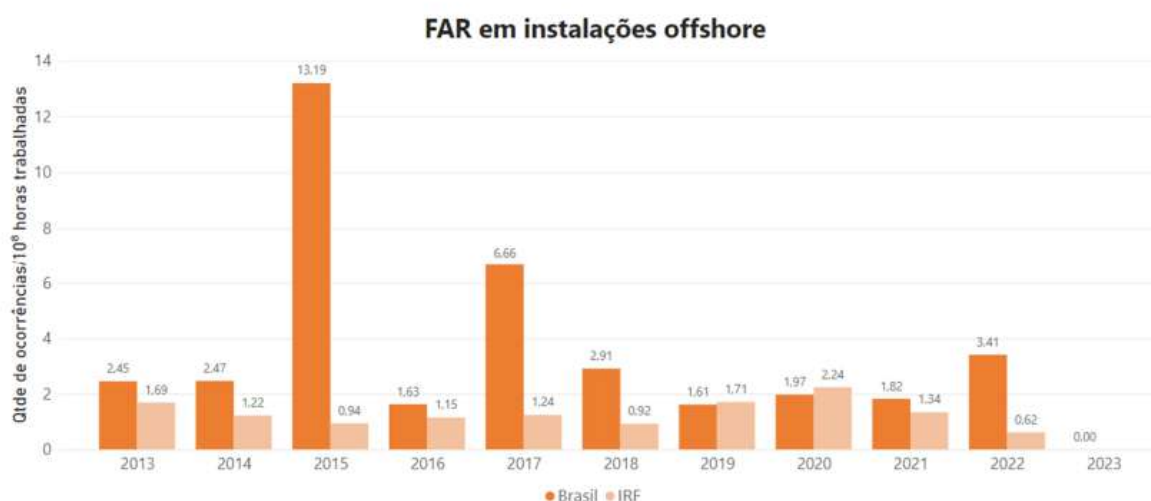
Figura 1 - Quantitativo de incidentes *offshore* em 2023



Fonte: ANP, 2024

Além disso, na Figura 2 é possível observar o índice de fatalidades FAR (*Fatal Accident Rate*) em instalações *offshore* entre os anos de 2013 e 2023. Ela compara o Brasil aos dados fornecidos pelo grupo de reguladores de saúde e segurança na indústria de óleo e gás (IRF).

Figura 2 - FAR em instalações de exploração e produção offshore de 2013 a 2023



Fonte: ANP, 2024

Pela análise dos dados na figura, é possível notar que, na maioria dos anos expostos, o índice nacional apresentou valores maiores que o benchmark internacional (ANP, 2024). Logo, percebe-se a necessidade do fortalecimento da PSM no país e da implementação de medidas mais eficazes de prevenção, controle e mitigação de riscos em instalações *offshore*.

3.2 SEGURANÇA DE PROCESSO BASEADA EM RISCO (RBPS)

Diante de um contexto de expansão do setor industrial e consequente aumento do número de acidentes em ambientes fabris, o *American Institute of Chemical Engineers* (AIChE), em tradução livre “Instituto Americano de Engenheiros Químicos”, observou a necessidade de desenvolver um sistema de gestão de segurança. O objetivo principal seria a minimização dos riscos inerentes à indústria a fim de preservar as vidas envolvidas nas operações, assim como a continuidade dos processos a longo prazo.

Abordagens baseadas em risco foram introduzidas para dar suporte à nova geração da PSM. Na Europa, dois estudos são considerados precursores no tema: Ilha Canvey (1978) e Área Rijnmond (1982). Contudo, apenas em 1985, o CCPS surge com objetivo de trabalhar e desenvolver todo o conhecimento tangente à segurança de processos, com o foco em um modelo baseado em riscos.

A própria organização define risco como a frequência esperada de um evento perigoso multiplicada pela sua gravidade potencial (CCPS, 2008). Em outras palavras, é a relação entre a chance de um erro ocorrer juntamente com o impacto gerado decorrente deste erro. Em áreas como segurança do trabalho, gestão de projetos e planejamento estratégico, uma ferramenta muito utilizada que trabalha esse conceito é a Matriz de Risco exposta na Figura 3.

Esta é organizada em duas dimensões: probabilidade e impacto, definidas pelas linhas e colunas, respectivamente. Por meio das duas dimensões, são formados quadrantes que caracterizam os níveis de riscos definidos, sendo possível calcular e visualizar a respectiva classificação do risco quanto a sua criticidade. Por exemplo, os riscos com uma classificação alta (cor vermelha) devem receber maior atenção em relação aos classificados como moderados ou médios (cor amarela) e, conseqüentemente, aos classificados como baixo (cor verde).

Figura 3 - Matriz 5x5 - Níveis de Riscos

Matriz de Criticidade Risco = P x I		Probabilidade (P)				
		1 Muito Baixo	2 Baixo	3 Médio	4 Alto	5 Muito Alto
Impacto (I)	5 Muito Alto	5	10	15	20	25
	4 Alto	4	8	12	16	20
	3 Médio	3	6	9	12	15
	2 Baixo	2	4	6	8	10
	1 Muito Baixo	1	2	3	4	5

Fonte: GOV, 2021

A abordagem RBPS parte justamente desse pressuposto e reconhece que todos os perigos e riscos em uma operação ou instalação não são iguais; conseqüentemente, é apropriado distribuir recursos de uma maneira que concentre o esforço nos principais perigos e riscos de maior criticidade (CCPS, 2008). Tal conceito se mostra prático e bastante promissor considerando uma realidade de recursos limitados disponíveis e a necessidade de tratar os riscos e perigos mais urgentes para a operação. Dessa forma, o RBPS surge como uma forma de direcionar os recursos cabíveis para cenários de maior risco, considerando-os prioritários para a análise em questão.

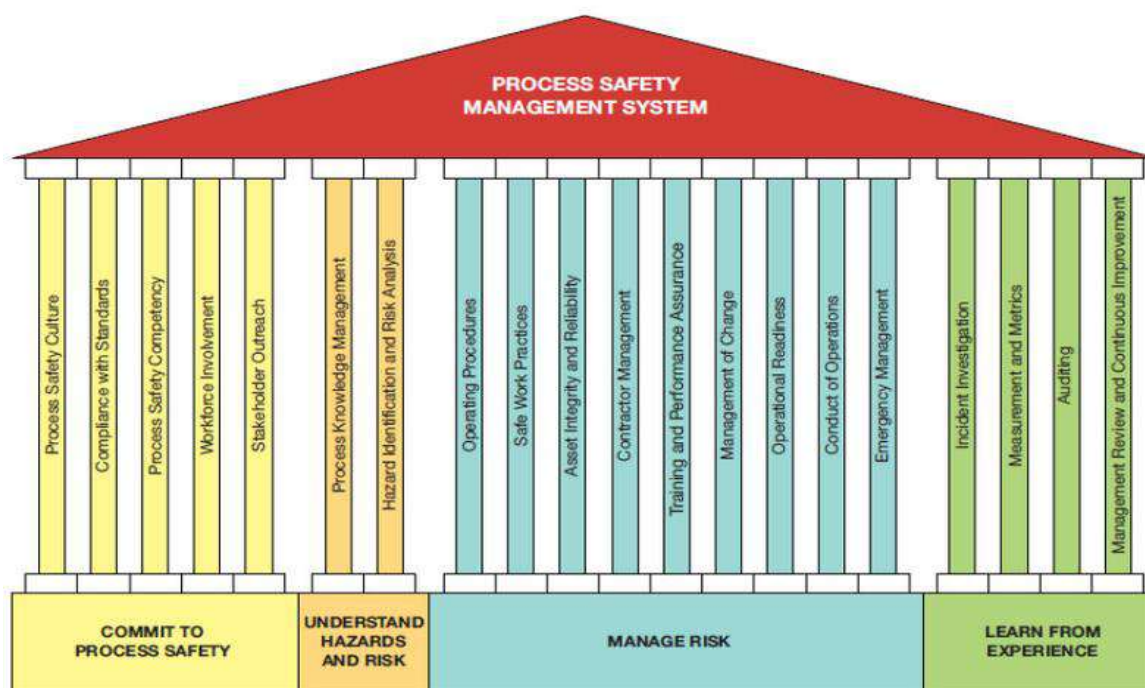
Ainda é possível encontrar outros *frameworks* parecidos em setores diferentes da indústria levando em consideração suas particularidades, mas o modelo e a linha de raciocínio são refletidos nos ideais propostos no RBPS. Um exemplo de outro sistema de gerenciamento é o Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO), utilizado pela ANP para o setor de Óleo e Gás, com o principal objetivo de normatizar as boas práticas de engenharia em plataformas e refinarias, tornando-as juridicamente exigíveis (ANP, 2007).

Em resumo, o RBPS é um *framework* com objetivo principal de auxiliar organizações no projeto e implementação de sistemas de gerenciamento de segurança de processo mais eficazes, baseado em duas estratégias centrais para o sucesso na implementação. A primeira foca na utilização dos critérios do modelo para projetar, corrigir ou melhorar os elementos de um sistema de segurança já existente, ou não, dentro da operação. Para isso, a compreensão dos

riscos associados, da demanda por atividades de segurança, dos recursos necessários e da influência da cultura nas atividades de segurança são fundamentais para trabalhar corretamente o modelo dentro da empresa. A segunda estratégia possui o foco na eficácia da segurança e do modelo implementado, utilizando de métricas como o KPIs (*Key Performance Indicator*), em tradução livre “Indicadores-Chave de Desempenho”, para a medição de desempenho e analisando as prioridades para o correto direcionamento de recursos.

O modelo RBPS é estruturado com base em quatro pilares principais, conhecidos como blocos fundamentais, compostos por elementos, em um total de 20, que devem ser implementados pelas empresas a fim de obter um gerenciamento de riscos eficiente. A estrutura do modelo é mostrada na Figura 4.

Figura 4 - Pilares da metodologia RBPS e seus elementos associados.



Fonte: CCPS, 2008

De acordo com o CCPS (2008), o foco nesses quatro blocos fundamentais deve permitir que uma organização melhore sua eficácia na segurança de processos, reduza a frequência e a gravidade de incidentes e melhore seu desempenho de segurança, ambiental e comercial a longo prazo. Essa abordagem ajuda a evitar lacunas, inconsistências e excesso de trabalho, assim como trabalho insuficiente e retrabalho que podem levar à falha do sistema. Além disso, permite a elaboração de um diagnóstico sistêmico dos fatores contribuintes que levam aos acidentes vivenciados, como exposto por Nogueira et al (2021). Para uma melhor compreensão, os tópicos a seguir detalham os pilares e os elementos do modelo desenvolvido pelo CCPS.

3.2.1 Comprometimento com a Segurança de Processos

Um dos alicerces primordiais quando se trata de segurança de processos é o comprometimento de uma organização junto à segurança, visando alcançar a excelência e o máximo aproveitamento de suas operações com o mínimo de riscos e acidentes. Um ponto crucial e presente neste primeiro pilar e intrinsecamente relacionado aos seus elementos é o foco no desenvolvimento de uma cultura de segurança na empresa. Segundo a ANAC (2024), uma cultura organizacional positiva e de apoio permitirá que os profissionais façam a coisa certa quando se trata de segurança, contribuindo na construção de uma cultura de segurança forte e eficaz.

Com uma mentalidade unificada estabelecida e com fortes lideranças à frente deste processo de comprometimento coletivo, a tendência é a capilarização deste sentimento para os demais níveis, até se obter uma força de trabalho convencida, apoiadora e atuante para manter a segurança como ponto focal. Nesse sentido, este primeiro pilar trata do compromisso autêntico com a segurança de processos, baseado em uma cultura forte e presente em todos os níveis organizacionais, dividindo-se em 5 elementos:

- Cultura de Segurança de Processos;
- Conformidade com Padrões e Normas;
- Competência em Segurança de Processos;
- Envolvimento da Força de Trabalho;
- Proximidade aos *Stakeholders*.

3.2.1.1 Cultura de Segurança de Processos

O primeiro elemento do pilar é a Cultura de Segurança de Processos. Há um desafio no meio acadêmico em fornecer uma definição consensual a respeito da definição de “Cultura de Segurança”.

Um dos primeiros conceitos surge em 1988 mediante a publicação do primeiro relatório técnico realizado pelo *International Nuclear Safety Advisory Group* (INSAG), em tradução livre “Grupo Internacional de Segurança Nuclear”, a respeito da análise do acidente das usinas nucleares de Chernobyl, tratando de fatores organizacionais como a principal abordagem. Como consequência do estudo, a definição de “Cultura de Segurança” foi dada como um “conjunto de características e atitudes das organizações e dos indivíduos que garante que a segurança de uma planta nuclear, pela sua importância, terá a maior prioridade” (INSAG, 2002).

Nos anos decorrentes, diante da tentativa de alcançar um conceito único para o termo, outras definições surgem como a de Hale (2000), que trata cultura de segurança como “atitudes, crenças e percepções compartilhadas pelos membros do grupo, que ditam normas e valores que, por sua vez, determinam como eles agem e reagem em relação ao risco e ao sistema de controle dos riscos.”

Richter e Koch (2004) ainda expõem cultura de segurança como as experiências vividas pelos membros da organização e os seus significados, assim como suas interpretações, os quais são expressos, em parte, de forma simbólica, atuando como guia para as ações dos empregados frente aos riscos e aos acidentes. Contudo, mesmo diante de diferentes definições, grande parte dos autores atribui ao conceito algumas características inerentes, relacionadas a:

1. Um conceito definido no nível do grupo ou superior que se refere aos valores compartilhados entre todos os membros do grupo ou da organização.
2. A questões formais de segurança em uma organização e intimamente relacionada, mas não restrita, aos sistemas de gestão e supervisão
3. Enfatiza a contribuição de todos em todos os níveis de uma organização.
4. Tem impacto no comportamento de seus membros no trabalho.
5. Se reflete na contingência entre sistemas de recompensa e desempenho de segurança.
6. Se reflete na disposição de uma organização de se desenvolver e aprender com erros, incidentes e acidentes.
7. É relativamente duradoura, estável e resistente a mudanças.

Por fim, Jones (2006) descreve a cultura de segurança como sendo a combinação de valores e comportamentos de grupo que determinam a maneira como a segurança de processo é gerenciada. Além disso, é descrita de maneira sucinta pelo CCPS (2008) em “como fazemos as coisas por aqui” e “como nos comportamos quando ninguém está olhando”.

Para se alcançar uma cultura de segurança de processo com uma máxima efetividade, é imprescindível três fatores principais, como mostra o modelo RBPS: (1) Garantir a execução e implementação de uma prática confiável a longo prazo, com a criação de valores centrais e padrões a serem seguidos com alto rigor, utilizando de figuras centrais capazes de direcionar os grupos das organizações. (2) Desenvolver uma cultura sólida de segurança de processo, em que a capacitação de indivíduos garanta um ambiente de comunicações abertas e de questionamentos para constantes aprendizagens. (3) Monitorar e orientar a cultura de forma contínua para garantia do alto desempenho.

3.2.1.2 Conformidade com Padrões e Normas

Para a garantia de um compromisso com a segurança de processos, a necessidade de se adequar e atender todas as normas, padrões, códigos, leis e regulamentos são indispensáveis e se estabelecem como o segundo elemento fundamental deste pilar. Para o cenário nacional, o conceito de Padrões e Normas se reflete no que são conhecidas como Normas Regulamentadoras (NR) e as Normas Brasileiras (NBR), definidas, respectivamente, pelo Ministério do Trabalho e da Previdência e pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT),

No âmbito internacional, normas de organizações como a *International Organization for Standardization* (ISO), em tradução livre “Organização Internacional de Normalização”, *International Electrotechnical Commission* (IEC), em tradução livre “Comissão Eletrotécnica Internacional”, e *National Fire Protection Agency* (NFPA), em tradução livre “Associação Nacional de Proteção contra Incêndios”, são consideradas referências mundiais a respeito da segurança de processos.

Estar em conformidade com a legislação abrange individualmente grande parte dos demais pilares em sua aplicabilidade. Todo o processo de operação, implementação e gestão necessitam do uso de um sistema normativo para a garantia da realização de um procedimento seguro de modo a minimizar os danos aos empregados e a instituição.

O conhecimento e a conformidade com os padrões ajudam uma empresa a operar e manter uma instalação segura, implementar de forma consistente práticas de segurança de processo e minimizar a responsabilidade legal da empresa com um possível evento extraordinário que possa vir a ocorrer (CCPS, 2008). Importante ressaltar que, o que deve ser feito para se manter em conformidade com as normas é o ponto focal de outros elementos do modelo RBPS. Este elemento visa simplificar o acesso às informações das normas e garantir uma comunicação eficiente entre as gerências sobre os status de conformidade das atividades das empresas com a legislação vigente.

3.2.1.3 Competência em Segurança de Processos

De acordo com Fleury (2001), competência é um saber agir responsável e reconhecido que implica mobilizar, integrar, transferir conhecimentos, recursos e habilidades que agreguem valor econômico à organização e valor social ao indivíduo. Esta definição nos mostra que a competência foge do que é tratado apenas como teórico e ganha um foco direcionado para a sua aplicação prática e eficaz no ambiente de trabalho.

Nesse sentido, o modelo de gestão do RBPS determina o que é competência em segurança de processos não somente como algo teórico, mas sim que promova a constante aplicação do que se aprende dentro do ambiente de trabalho. Para que isso ocorra, é necessário que sejam incentivados e promovidos o aprendizado e a competência continuamente.

3.2.1.4 Envolvimento da Força de Trabalho

O envolvimento da força de trabalho é um dos elementos chave do modelo RBPS. A participação efetiva de todos os envolvidos na organização, valorizando suas experiências e conhecimentos, contribui para uma melhoria contínua da segurança e do próprio modelo de gestão.

Como cada trabalhador possui uma função específica e responsabilidade para garantir a segurança e conformidade dentro das operações, estes possuem conhecimento detalhado de cada atividade visto que estão constantemente expostos aos riscos do processo. Logo, seu envolvimento assegura que as lições aprendidas por aqueles mais próximos ao processo sejam consideradas e absorvidas, promovendo uma cultura de segurança robusta e eficaz.

A eficácia de qualquer sistema de gestão de segurança depende diretamente do grau de envolvimento da força de trabalho. Quando os empregados são capacitados e participam ativamente das atividades cotidianas, a segurança se torna uma responsabilidade compartilhada, o que resulta em menores índices de incidentes (SCHILL, CHOSEWOOD, 2013).

3.2.1.5 Proximidade aos *Stakeholders*

A proximidade com os *Stakeholders* é o último elemento do pilar de comprometimento com a segurança de processos. Este consiste em envolver todos aqueles que possam ser afetados direta ou indiretamente pela operação, a fim de manter um bom relacionamento. Isto inclui empregados, gestores, fornecedores, contratados, autoridades reguladoras, comunidades e investidores.

A construção desse relacionamento deve ocorrer por meio do fornecimento de informações precisas sobre produtos, processos, planos, perigos e riscos da empresa e da instalação que possam pôr em risco a integridade dos stakeholders (CCPS, 2008). Além disso, a participação ativa deles mostra-se benéfica para a empresa uma vez que ocorre a:

1. Identificação de riscos e melhoria contínua em função das diferentes perspectivas e experiências vivenciadas por *Stakeholders* internos e externos;
2. Cumprimento de normas e regulamentos através de uma ativa participação de autoridades regulatórias que garantirão a conformidade com as normas;
3. Fortalecimento da cultura de segurança;
4. Transparência, responsabilidade e reforça a responsabilidade social e corporativa, onde a segurança não impacta apenas a empresa, mas também as comunidades ao redor e consequentemente o meio ambiente.

3.2.2 Compreensão de Perigos e Riscos

A partir da Compreensão dos Perigos e Riscos ao qual um projeto está sujeito, é possível aprimorar o sistema de gestão e evidenciar falhas presentes na planta. O 2º Pilar do RBPS trata exatamente desse tópico: como o conhecimento e entendimento acerca dos perigos e riscos de um sistema como um todo pode elevar o nível de seu gerenciamento. A compreensão não deve partir apenas dos funcionários mais operacionais, mas também de toda a gerência e todas as demais partes interessadas.

3.2.2.1 Gestão do Conhecimento do Processo

A partir da Gestão de Conhecimento de um Processo, seja ele qual for, é possível garantir que todas as partes envolvidas tenham acesso às mesmas informações e que, a partir delas, seja possível obter um domínio sobre o processo que evite possíveis distintas interpretações, diminuindo, assim, o risco operacional. O conhecimento é propagado principalmente por informações que possam ser facilmente registradas em documentos como: Documentos técnicos e especificações por escrito, desenhos de engenharia e cálculos, especificações para design, fabricação e instalação de equipamentos de processo e, por fim, outros documentos escritos como folhas de dados de segurança de materiais (CCPS, 2008).

Para que os documentos sejam acessados, é de suma importância que sejam de fácil alcance. Uma rede de conhecimento indisponível, seja por uma série de ingerências, seja por limitações no processo de documentação, pode fazer com que haja um desvio na passagem do aprendizado, prejudicando a longo e curto prazo o sistema de gestão.

Entretanto, cabe ressaltar que o conhecimento não envolve apenas o registro e gerenciamento das informações, mas sim o “know-how” de como usá-las a favor do processo.

Por meio dessa competência, aliada ao conhecimento técnico, é possível que os usuários interpretem e entendam a informação que lhes é disponibilizada.

3.2.2.2 Identificação de Perigos e Análise de Riscos

O elemento denotado Identificação de Perigos e Análise de Riscos é de extrema importância no que diz respeito à segurança de processos. A partir da identificação e do reconhecimento dos perigos e riscos aos quais o processo está sujeito, é possível traçar um plano de ação visando reverter e/ou inibir os fatores provocativos de tais malefícios. Dentre as metodologias existentes que permitem a análise adequada por meio de tutoriais bem definidos, é notório citar: *Hazard and Operability Study* (HAZOP), em tradução livre “Estudo de Perigos e Operabilidade”, *Hazard Identification* (HAZID), em tradução livre “Estudo de Identificação de Perigos”, entre muitas outras.

O *Hazard Identification and Risk Analysis* (HIRA), em tradução livre “Identificação de Perigos e Avaliação de Riscos”, engloba todas as atividades envolvidas na identificação de perigos e avaliação de riscos nas facilidades durante todo o seu ciclo de vida, para garantir que riscos aos empregados, ao público e/ou ao meio ambiente sejam constantemente controlados dentro do limite de tolerância da organização. Esses estudos normalmente englobam três principais questões no nível de detalhamento necessário para o objetivo da análise, são elas (CCPS, 2008):

- Perigo - O que pode dar errado?
- Consequências - O quão drástico seria?
- Probabilidade - Qual a frequência que aconteceria?

Após os perigos terem sido identificados e os riscos devidamente analisados, eles deverão ser julgados quanto à sua aceitabilidade. Algumas empresas avaliam como aceitável quando um sistema conforta um padrão mínimo de riscos como uma norma ou legislação, enquanto outras empresas podem possuir padrões internos mais rigorosos (CCPS, 2008).

3.2.3 Gestão dos Riscos

O terceiro pilar do modelo RBPS é voltado para a gestão de riscos operacionais, com foco na identificação, análise e controle dos perigos presentes nas atividades da organização. O gerenciamento eficaz dos riscos é fundamental para mitigar os efeitos das incertezas e assegurar o cumprimento dos objetivos organizacionais, fortalecendo a confiança nos processos e aprimorando a capacidade da empresa de antecipar, priorizar e superar possíveis obstáculos. De

forma geral, a gestão de riscos pode ser definida como um processo estruturado de tratamento das incertezas, buscando equilibrar a maximização de ganhos com a redução de perdas inerentes às operações. Segundo o CCPS (2008), esse processo se apoia em três fundamentos principais:

1. Operar e manter com prudência os processos que representam o risco;
2. Propor alterações a esses processos para garantir que os riscos permaneçam toleráveis;
3. Preparar-se para responder e gerir incidentes que ocorram.

3.2.3.1 Procedimentos Operacionais

O primeiro elemento do terceiro bloco trata dos Procedimentos Operacionais que devem ser seguidos para determinadas tarefas dentro de um sistema. Estes descrevem, por meio de instruções escritas, todas as etapas por trás da boa execução de um processo, assim como estas devem ser executadas.

Neste elemento, a relação entre os procedimentos operacionais e as análises de riscos presentes no pilar anterior possuem uma estreita relação. Bons procedimentos descrevem o processo, perigos, ferramentas, equipamentos de proteção e controle em detalhes suficientes para que os operadores entendam os perigos, possam verificar se os controles estão em vigor e possam confirmar que o processo responde de maneira esperada (CCPS, 2008).

É previsto que todos os cenários sejam mapeados e contenham orientações a respeito das ações a serem tomadas pelos operadores durante os procedimentos. Essas ações devem conter instruções para a solução de problemas quando o processo não atua conforme o esperado e relatar possíveis casos de desligamento, assim como abordar situações especiais fora do escopo inicial de operação. Essas situações podem estar relacionadas a algum processo temporário, como um equipamento de uso específico para determinada situação.

O não cumprimento desses procedimentos ou a falha da organização em fornecer tais informações com o nível de detalhamento requerido pode acarretar não conformidades que afetam a qualidade e eficiência das operações. Ao passo que, conforme não se utiliza dos procedimentos estabelecidos, optando-se pelo uso da memória ou alternativas não previstas na análise dessa tarefa, a operação tende a se apresentar altamente imprevisível e, em grande parte dos casos, insegura.

3.2.3.2 Procedimentos de Trabalho Seguro

O elemento de Práticas de Trabalho Seguro visa controlar todos os riscos associados a trabalhos não rotineiros dentro de um ambiente industrial com potenciais riscos à vida dos

operadores. Ele preenche as lacunas entre os procedimentos operacionais e os de manutenção, sendo necessárias autorizações para a atuação de funcionários em locais com riscos.

Procedimentos operacionais regem atividades relacionadas diretamente com a fabricação do produto daquele processo, enquanto procedimentos de manutenção englobam os testes e inspeções necessárias para assegurar o funcionamento adequado dos ativos industriais, prevenindo falhas, reduzindo riscos operacionais e prolongando a vida útil dos equipamentos. Para a adoção deste elemento, é fundamental a definição de um escopo descritivo de todas as atividades, juntamente com uma lista de referências e procedimentos a serem seguidos à risca. Os procedimentos e autorizações necessárias para a atuação em determinado ambiente devem ser gerenciados e passados a uma equipe competente que garanta o treinamento dos funcionários e controle do acesso a áreas de riscos nas instalações. Os Procedimentos de Trabalho Seguro estão intrinsecamente relacionados ao elemento de Treinamento de Garantia de Desempenho a ser tratado ainda neste pilar.

3.2.3.3 Integridade e Confiabilidade dos Equipamentos

Em uma planta de processo, a necessidade de equipamentos com as mais variadas funções é evidente. Por meio deles, é possível que se chegue a um resultado esperado da melhor maneira possível. Entretanto, cabe ressaltar que esses equipamentos devem ser projetados e utilizados da maneira correta e dentro de contextos específicos. O elemento Integridade e Confiabilidade dos Equipamentos do terceiro Pilar do RBPS disserta sobre o tema em questão, avaliando a importância do bom funcionamento e da qualidade dos dispositivos utilizados.

O elemento citado ajuda a garantir que os equipamentos estão sendo devidamente projetados, instalados de acordo com suas características e que permaneçam operantes durante todo seu tempo de vida útil. É a implementação sistemática de atividades como inspeções e testes necessários para assegurar que instalações importantes estarão funcionais para suas aplicações pretendidas com o objetivo de prevenir liberação de material perigoso ou de energia excessiva (CCPS, 2008).

De modo a garantir a instalação e dimensionamento adequado de uma série de equipamentos presentes na indústria, existem padrões e normas específicas que devem ser utilizadas pelas equipes técnicas por trás da engenharia. Entre essas normas, é possível citar a API 650 para dimensionamento e construção de tanques de armazenamento e a API 661 para trocadores de calor de arrefecimento a ar, ambas regidas pelo American Petroleum Institute (API).

3.2.3.4 Gestão de Trabalhadores Contratados

Quando se fala sobre processos em larga escala, existem muitas variáveis importantes a serem levadas em consideração, entre elas a mão de obra demandada. Em determinadas situações, como na realização de tarefas muito específicas e/ou esporádicas, torna-se necessário a contratação de trabalhadores terceirizados. O elemento Gestão de Trabalhadores Contratados trata justamente deste tópico.

O elemento em questão visa assegurar que trabalhadores terceirizados possam não só executar seus serviços de forma a não os colocar em risco, mas também não ir de encontro à cultura de segurança da empresa. É normal que a mão de obra ocasional não esteja completamente situada em todos os processos presentes, porém é de suma importância que a empresa contratante possua uma série de procedimentos e treinamentos para suprir essa defasagem de conhecimento entre os trabalhadores.

A Gestão de Trabalhadores Contratados existe para garantir que os serviços contratados promovam tanto operações seguras de instalações, como também a segurança de processo da companhia e, por fim, metas da performance da segurança de pessoal. É possível avaliar por meio desse elemento a seleção, aquisição, uso e monitoramento dos serviços terceirizados (CCPS, 2008).

3.2.3.5 Treinamento e Garantia de Desempenho

O elemento Treinamento e Garantia de Desempenho do terceiro pilar do RBPS garante que o efetivo da empresa esteja plenamente capacitado e pronto para atuar em suas respectivas funções. A partir do momento em que habilidades técnicas são exigidas para a execução de trabalhos dentro da planta de processo, os treinamentos e avaliações entram como forma de garantir a segurança de todo o sistema. Os treinamentos podem ser feitos em uma sala de aula ou no ambiente de trabalho e seus objetivos são permitir que a mão de obra esteja de acordo com um padrão inicial mínimo de performance, manter sua proficiência ou qualificá-los para promoções para posições mais demandantes (CCPS, 2008).

Já a garantia desse desempenho é feita de modo que os trabalhadores demonstrem que estão de acordo com as capacitações e que podem executar suas funções em situações práticas. A garantia da performance deve ser feita constantemente de modo a comprovar que o efetivo esteja a par dos parâmetros requeridos para a execução de suas tarefas e avaliar onde treinamentos adicionais podem ser necessários (CCPS, 2008).

3.2.3.6 Gestão da Mudança

Em um contexto de segurança de processo, a mudança é um fator que deve ser avaliado com extrema cautela. Ao longo do tempo de vida útil de uma planta, adaptações e inovações tornam-se inevitáveis, exigindo flexibilidade do sistema de gestão de segurança. O elemento Gestão de Mudança trata explicitamente sobre esse assunto, indicando formas de lidar com mudanças eventuais que podem e provavelmente ocorrerão dentro do sistema avaliado.

Segundo Pienaar e Möller (2010), a Gestão de Mudança pode ser definida como: “Um conjunto de práticas e processos organizacionais voltados para a implementação controlada e eficaz de mudanças, visando a mitigação de riscos, a garantia da continuidade operacional e a segurança das operações.”

A Gestão de Mudanças permite garantir que alterações no processo não acrescentem de forma inadvertida novos perigos ou aumentem a criticidade de riscos já existentes. A MOC (*Management of Change*), em tradução livre “Gestão da Mudança”, inclui uma revisão e um procedimento para avaliar ajustes propostos ao design da planta, operação, organização ou atividades antes que as modificações sejam de fato implementadas. Isso ocorre de modo a garantir que nenhum perigo não previsto surja e que nenhum perigo que já existe a funcionários, o público e/ou o meio ambiente seja aumentado (CCPS, 2008).

As modificações não podem ser avaliadas até que sejam devidamente identificadas. A empresa deve implementar sistemas efetivos de avaliação quanto aos tipos de modificações que são antecipadas para uma atividade e as fontes dessas alterações. Para uma empresa adotar e implementar um protocolo de análise eficaz para cada tipo de mudança, torna-se necessário prover informações iniciais suficientes, aplicar técnicas rigorosas de avaliação e responsabilizar a MOC ao pessoal com as ferramentas e expertise necessárias (CCPS, 2008).

3.2.3.7 Prontidão para a Operação

Durante o tempo de vida útil de uma instalação, é comum que os processos sejam submetidos a desligamentos e reinicializações, sejam eles por curtos períodos, longos períodos ou por motivos administrativos. Contudo, de acordo com o CCPS (2008), as etapas do "start" da planta podem apresentar maior criticidade no que diz respeito à segurança de processos e representam uma parcela considerável dos acidentes e incidentes observados.

Fatores humanos, falhas mecânicas e sistemas de controle inadequados são algumas das causas que contribuem para um aumento dos riscos envolvidos considerando o agravante gerado pelas condições instáveis nas etapas iniciais dos processos. Como exemplo de acidente relacionado à inicialização da planta, é possível citar o caso da refinaria em BP Texas City (CSB, 2007), no qual, durante a partida da unidade de isomerização, houve a explosão de uma

torre de destilação que deixou 15 mortos e 180 feridos. Nesse sentido, o CCPS menciona que a implementação de métricas de segurança de processo, incluindo indicadores *leading* e *lagging*, é essencial para monitorar e melhorar continuamente o desempenho de segurança durante todas as fases operacionais, incluindo *startups* e *shutdowns*.

O elemento de prontidão garante que a inicialização e os *shutdowns* sejam testados antes da continuidade operacional da planta. Ele se manifesta por meio da distribuição de tarefas, onde e quando devem ser realizadas, e quais conhecimentos técnicos devem ser levados em consideração e presentes na equipe para a execução de uma inicialização segura.

3.2.3.8 Condução das Operações

O elemento de Condução das operações visa o desenvolvimento das tarefas operacionais com excelência e alto nível em suas execuções de forma deliberada e estruturada. Intrinsecamente ligada à cultura da organização, pode ser tratada como Disciplina Operacional, tendo em vista a criação de valores atrelados à realização das tarefas para garantir sua correta execução de acordo com os padrões e normas estabelecidos previamente e, conseqüentemente, minimizar as variações no desempenho dos processos.

3.2.3.9 Gestão da Emergência

O elemento Gestão de Emergência disserta sobre a importância de um processo bem estruturado e difundido de gerenciamento de situações adversas e emergenciais. A partir do conhecimento acerca dos cenários emergenciais, obtidos por meio de análises de risco, é possível que seja elaborado um plano de contingência, de modo a reduzir ao máximo as consequências em caso de calamidades na planta.

A Gestão de Emergência inclui: um planejamento para possíveis emergências, o fornecimento de recursos para a execução do plano, praticando e continuamente aprimorando o plano, treinando ou informando funcionários, contratantes e autoridades locais sobre o que fazer, como eles serão notificados e como relatar uma emergência e efetivamente comunicando as partes interessadas no caso de um incidente ocorrer (CCPS, 2008). Por definição, emergências permitem pouco ou nenhum aviso prévio. Há pouca oportunidade de desenvolver, atualizar ou revisar o planejamento. Os responsáveis são instigados a escolher um caminho de ações baseado no alcance das opções de resposta ou derivados dessas opções. As respostas estão tipicamente limitadas por número de pessoal, seu treinamento, equipamentos, protocolo de comunicação e suporte externo. Usualmente, cada um dos recursos possui um custo, exigindo um equilíbrio do que é possível de ser feito e dos suprimentos disponíveis (CCPS, 2008).

3.2.4 Aprendizado com a Experiência

O quarto pilar do RBPS diz respeito ao Aprendizado com a Experiência. Por meio dele, é possível realizar, seja com análises externas ou internas, um processo de revisão do sistema de gestão e obter uma melhora recorrente da organização. Além disso, com o processo de Investigações, é possível evitar que os mesmos erros se repitam e gerar um ecossistema de trabalho mais seguro para toda a indústria.

3.2.4.1 Investigação de Acidentes

O elemento Investigação de Acidentes do 4º pilar do modelo RBPS é de extrema importância para permitir o entendimento acerca dos acidentes já ocorridos e seus motivos. Por meio das investigações, as instituições detêm os meios necessários para amenizar e evitar futuros eventos semelhantes. Além disso, novas legislações podem ser criadas, evitando a propagação de erros recorrentes em determinado setor/contexto.

A Investigação de Acidentes consiste no processo de divulgar, monitorar e investigar incidentes, o qual abrange uma metodologia formal de investigação que inclui funcionários, performance, documentação e mapeamento de incidentes relacionados à segurança de processo, além de analisar tendências e avaliar dados de modo a identificar incidentes recorrentes (CCPS, 2008). Para a adequada investigação, faz-se necessário um estrito processo de padronização e qualificação. Como a maioria dos funcionários não participa desse processo de maneira recorrente, é necessário que regras e procedimentos existam de forma a guiar os responsáveis na melhor maneira possível de conduzir a investigação.

Por fim, faz-se necessário o registro e a documentação dos incidentes de maneira adequada, permitindo a utilização das informações obtidas e o acúmulo de referências de modo a evitar a propagação de erros semelhantes aos já analisados anteriormente. Ainda assim, é de suma importância o uso adequado das informações obtidas, trazendo à tona suas reais aplicações. Dessa forma, torna-se crucial a divulgação, tanto externa, quanto interna, dos resultados obtidos (CCPS, 2008).

3.2.4.2 Métricas e Indicadores

O elemento Métricas e Indicadores do 4º pilar do modelo RBPS é crucial para traduzir as informações referentes aos acidentes. A partir dele, é possível identificar padrões e corrigir erros recorrentes em sistemas existentes e em cenários semelhantes.

O elemento em questão estabelece indicadores de performance e eficiência para monitorar quase em tempo real a efetividade do sistema de gestão do RBPS e seus elementos constituintes, assim como as atividades relativas ao trabalho. Ele indica quais indicadores considerar, a frequência da coleta de dados e o que fazer para garantir responsividade e efetividade da operação sob o sistema de gestão do RBPS (CCPS, 2008).

Por meio da combinação de indicadores *leading* e *lagging*, é possível obter uma análise completa da efetividade da segurança de um processo. Indicadores *lagging* medem resultados passados, como por exemplo a ocorrência de acidentes, enquanto indicadores *leading* utilizam desses dados anteriores para antever tendências, como a taxa de atividades realizadas de maneira indevida que podem ocasionar em incidentes (SILVA; OLIVEIRA, 2013). No entanto, cabe ressaltar que a coleta excessiva de dados pode gerar uma sobrecarga desnecessária no sistema de métricas e indicadores, anuviando a análise, assim como dados insuficientes podem impossibilitar um estudo crível da real efetividade do sistema de gestão do RBPS. As instituições devem definir idealmente o número de métricas, assim como seu escopo e a frequência de atualizações (CCPS, 2008).

3.2.4.3 Auditoria

O elemento Auditoria do 4º pilar do modelo RBPS atua como uma avaliação crítica dos demais pilares e elementos do sistema de gestão. Por meio dele, é possível analisar se todas as diretrizes estabelecidas estão sendo seguidas conforme estipulado, assim como identificar falhas e defeitos na aplicação dessas diretrizes, as quais precisam ser corrigidas. O elemento em questão atua em conjunto com todos os demais presentes no modelo.

A Auditoria consiste em um sistema para planejamento, recrutamento, performance efetiva e documentação periódica das avaliações de todos os elementos do RBPS, assim como fornece meios de resolução e ações corretivas para as inconsistências (CCPS, 2008). Seu principal objetivo é, por meio de uma avaliação externa, identificar possíveis falhas ou pontos que podem ser aprimorados no processo. É possível analisar, por exemplo, se a equipe valoriza a cultura de segurança, se as avaliações de risco possuem a abrangência requerida, se os indicadores selecionados são, de fato, relevantes ao processo, entre outros (CASTILHO et al, 2020).

3.2.4.4 Revisão de Gestão e Melhoria Contínua

O elemento Revisão de Gestão e Melhoria Contínua atua de modo a obter, de maneira contínua, uma análise do sistema de gerenciamento e de sua efetividade. Por meio dele, é possível realizar revisões e atualizações constantes de metodologia, visando aprimoração constante. Assim como no elemento Auditoria, torna-se necessário um estruturado sistema de planejamento, recrutamento e avaliação efetiva dos demais pilares do sistema de gestão do RBPS.

A Revisão de gestão avalia se o sistema de gerenciamento está performando como esperado e produzindo os resultados desejados da maneira mais eficiente possível. É a constante análise de gestão que preenche o espaço entre o trabalho realizado no dia a dia e as auditorias periodicamente realizadas (CCPS, 2008). No que diz respeito à Melhoria Contínua, é de suma importância que, além de serem obtidos resultados das análises de modo recorrente, que os insumos obtidos sejam usados de maneira a otimizar constantemente o sistema de gestão da instituição em questão, gerando um ecossistema benéfico que permita aprimoramentos críticos para a manutenção da operabilidade do sistema analisado.

4 SISTEMA DE COMBATE A INCÊNDIO

De acordo com Pereira (2009), o fogo é uma força imensa que deve ser controlada, porém quando esse controle é perdido ocorrem os incêndios e, com eles, danos e perdas muitas vezes irreparáveis. Nesse sentido, o surgimento de métodos e meios para o controle do fogo, com o objetivo de minimizar os danos gerados, é de extrema importância.

A partir dessa necessidade, os sistemas de prevenção e combate a incêndios foram desenvolvidos, abordando desde medidas estruturais e organizacionais até equipamentos específicos para detecção e extinção do fogo. Esses sistemas são fundamentais tanto para a preservação da vida, quanto para a proteção de bens materiais e ambientais, sendo regidos por normas técnicas e legislações específicas que garantem sua eficácia e segurança operacional. Para compreender adequadamente o funcionamento de um sistema de combate a incêndios, é necessário definir três conceitos fundamentais: combustão, fogo e incêndio. Conforme a ISO 8421-1 (1987), referente à terminologia de proteção contra incêndio:

- Combustão é a ação exotérmica de uma substância combustível com um oxidante, usualmente acompanhada por chamas e/ou abrasamento e/ou emissão de fumaça;
- Fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor acompanhado por fumaça, chama ou ambos;

- Incêndio é a combustão rápida disseminando-se de forma descontrolada no tempo e no espaço.

A formação do fogo requer a presença simultânea de três elementos: combustível, comburente e calor, representados pelo triângulo do fogo na Figura 5 (à esquerda). O combustível é o material com capacidade de queimar e alimentar o processo; o comburente, geralmente o oxigênio, é o agente que permite a combustão ao reagir com os vapores inflamáveis do combustível; e o calor é a energia responsável por iniciar e propagar o fogo (USBR, 2000).

O modelo do triângulo do fogo descreve as condições mínimas necessárias para o início da combustão. No entanto, para que a combustão se mantenha, é necessário um quarto elemento: a reação em cadeia, responsável por sustentar o processo contínuo. Essa evolução conceitual dá origem ao tetraedro do fogo, conforme Figura 5 (à direita).

Figura 5 –Triângulo do fogo (à esquerda) e do Tetraedro do fogo (à direita)



Fonte: CBMSC, 2018

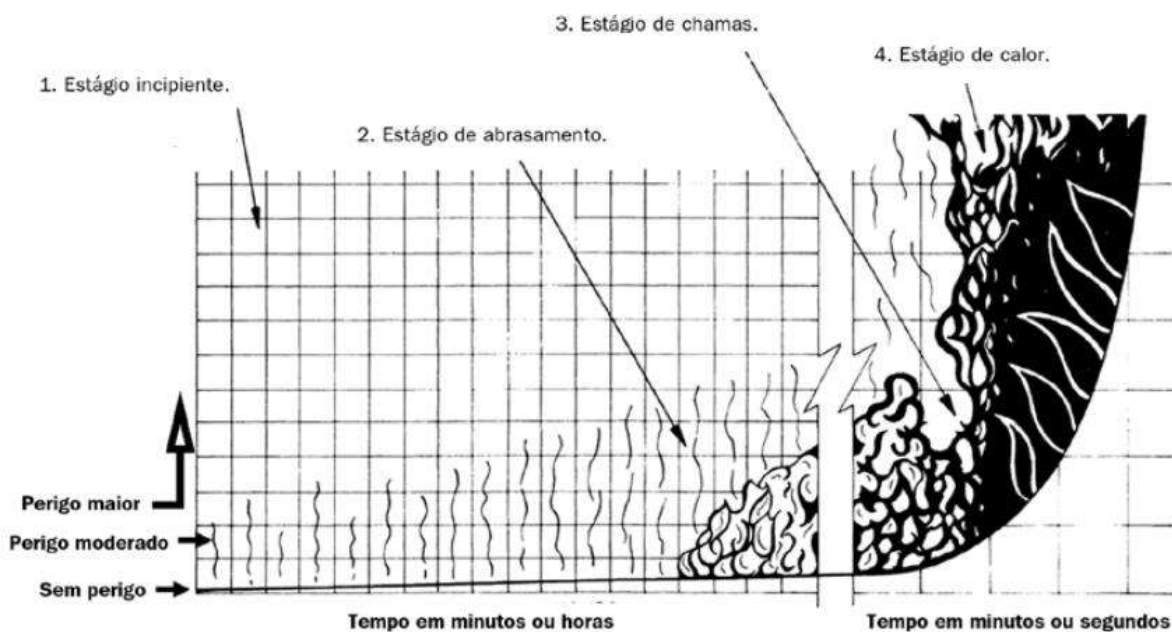
A combustão é definida como uma reação de oxirredução, caracterizada pela transferência de elétrons entre duas substâncias: o agente redutor, que é o combustível e se oxida ao ceder elétrons, e o agente oxidante, geralmente o oxigênio, que se reduz ao recebê-los. Nesse processo, o número de oxidação (NOX) do agente oxidante diminui, enquanto o NOX do combustível aumenta. Para que a reação de combustão se inicie, é necessário um fornecimento mínimo de energia, denominada energia de ativação que, na maioria das vezes, é fornecida sob a forma de calor.

Quando um combustível é aquecido, ocorre a liberação de vapores e gases que se misturam com o oxigênio presente no ar. Caso exista uma fonte de ignição com energia suficiente para superar a barreira da energia de ativação e a temperatura do meio seja adequada, inicia-se a combustão, com a liberação de uma quantidade significativa de calor.

Se o calor gerado não for suficiente para manter a vaporização contínua do combustível, a chama se extingue. Por outro lado, caso a energia liberada seja capaz de sustentar esse processo, a combustão atinge um estado de autossustentação, utilizando parte do calor gerado pela reação para manter a vaporização do combustível. Nesse ciclo, o material combustível passa por pirólise, sofrendo decomposição térmica e liberando radicais livres altamente reativos, além de vapores inflamáveis. Esses produtos, ao reagirem com o oxigênio do ar, mantêm o processo de combustão, promovendo a continuidade e a propagação da chama (AZPEITIA, 2009).

Nesse contexto, é possível identificar quatro estágios principais na evolução de um incêndio, levando em conta a relação entre o tempo e o grau de perigo envolvido em cada fase. A Figura 6 ilustra essa dinâmica, do início do fogo até o estágio crítico de intensa liberação de calor.

Figura 6 - Evolução do Incêndio



Fonte: SEITO, 2008

Primeiramente, no estágio incipiente há formação de produtos invisíveis da combustão sem presença de fumaça, chamas ou calor significativo. Em seguida, no estágio de abrasamento, surgem os primeiros sinais visuais da combustão, como fumaça, embora o calor e as chamas ainda sejam discretos. O terceiro estágio é marcado pelo aparecimento de chamas e aumento do calor, caracterizando o início efetivo do incêndio. Por fim, o estágio de calor representa a fase mais perigosa, com liberação intensa de energia, expansão rápida do ar e risco elevado de eventos violentos como o *flashover*, tornando o ambiente extremamente perigoso em poucos segundos.

Segundo Seito (2008), os princípios de incêndio variam em suas características conforme a origem do fogo e os tipos de materiais combustíveis presentes. Dessa forma, cada situação exige a aplicação de um agente extintor específico, adequado às particularidades do incêndio para garantir uma extinção eficaz e segura.

4.1 CLASSIFICAÇÃO DOS INCÊNDIOS

Para a extinção de um incêndio, é fundamental, primeiramente, identificar o tipo de fogo e o material em questão a fim de selecionar o método mais eficaz para combatê-lo. Diferentes técnicas podem ser empregadas, cada uma atuando de forma específica sobre um ou mais elementos do tetraedro do fogo, sendo ainda possível a combinação desses métodos para otimizar a eficácia da extinção.

Logo, os incêndios são classificados com base nos materiais combustíveis envolvidos. Essa categorização tem como objetivo identificar o agente extintor mais apropriado para cada tipo específico de incêndio. Agentes extintores são substâncias que interrompem a combustão ao eliminar um ou mais dos elementos essenciais do fogo (CBMSC, 2018). Na Tabela 1, é possível observar as classificações de tipos de incêndios, juntamente com seus respectivos métodos de extinção.

Tabela 1 - Tipos de Incêndio x Métodos de extinção

Classe de Incêndio	Tipos de Incêndio	Método de Extinção
A	Materiais sólidos: madeira, papel, tecido, plástico e borracha.	Água (resfriamento) ou extintores de espuma, pó químico ABC, FM200 e Halon.
B	Líquidos inflamáveis: gasolina, óleo, álcool, solventes.	Extintores de CO ₂ , pó químico BC, espuma, FM200 e Halon.
C	Equipamentos elétricos energizados: painéis elétricos, cabos, motores.	Extintores de CO ₂ ou pó químico BC, FM200 e Halon.
D	Metais combustíveis: magnésio, alumínio, lítio, titânio.	Extintores de pó especial para metais (como grafite, cloreto de sódio ou pó de cobre).
K	Óleos e gorduras de cozinha: óleos vegetais e animais.	Agentes de saponificação,

Fonte: Elaboração própria.

4.2 MÉTODOS DE EXTINÇÃO

Segundo Silva (2012), a escolha do agente extintor não deve se limitar apenas à sua capacidade de extinguir o fogo, mas deve considerar também os efeitos colaterais que podem ocorrer durante o combate e após a extinção. Essa avaliação torna-se ainda mais relevante em situações que envolvem:

- A presença de pessoas no ambiente durante a liberação do agente;
- A existência de equipamentos ou máquinas sensíveis que possam ser danificados;
- O tempo necessário para remoção do agente residual do local;
- E o período exigido para o retorno seguro das atividades no ambiente afetado.

Esses fatores são fundamentais para garantir que a escolha do sistema de combate a incêndio esteja alinhada às necessidades operacionais e de segurança da instalação. A atuação dos agentes extintores na eliminação do fogo pode ser compreendida por meio de quatro métodos principais, conforme descrito pelo Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC, 2018): retirada do combustível, resfriamento, abafamento (ou isolamento do oxigênio) e quebra da reação em cadeia.

O primeiro refere-se à retirada do material combustível de modo a interromper a alimentação da combustão. O resfriamento consiste em reduzir a temperatura do material combustível que está queimando, diminuindo consequentemente o calor e a liberação de gases ou vapores inflamáveis. O abafamento, por sua vez, é baseado na redução do contato físico do oxigênio com o combustível, impedindo sua queima. E Por fim, a quebra da reação em cadeia é proporcionada ao introduzir substâncias no processo de combustão com o propósito de inibi-la, reduzindo as capacidades do combustível e do comburente de manter o processo de reação química em cadeia (CBMSC, 2018).

Dentre os principais agentes extintores utilizados, é possível destacar a água, o LGE, pó químicos e os agentes gasosos. A seguir, cada um deles será descrito de forma detalhada, assim como evidenciada sua especificidade para cada caso.

- Água

No contexto das plataformas de petróleo, os sistemas de extinção por água são amplamente utilizados por meio de equipamentos pressurizados, como *sprinklers* (aspersores

automáticos), conforme Figura 7, e hidrantes, que permitem a cobertura de grandes áreas de forma automatizada e eficiente. Esses métodos são empregados especialmente em locais onde o uso de extintores portáteis seria insuficiente para controlar focos de incêndio, proporcionando uma resposta mais abrangente e contínua no combate às chamas.

Figura 7 - *Sprinkler* modelo ESFR Viking VK510



Fonte: Potenza, 2025

Entretanto, em ambientes que contenham equipamentos elétricos ou a presença de combustíveis líquidos ou gasosos, como óleos e gases inflamáveis, a utilização de extinção por água não é recomendada. Nesses casos, a aplicação da água pode provocar curtos-circuitos, colocando em risco a integridade dos equipamentos e a segurança das pessoas. Diante dessas condições, o uso de pó químico seco ou agentes extintores gasosos, como o dióxido de carbono, mostra-se mais apropriado para o controle eficiente e seguro do fogo.

- Líquido Gerador de Espuma (LGE)

Para incêndios das classes A e B, o Líquido Gerador de Espuma (LGE) pode ser utilizado de forma eficaz. Sua aplicação resulta na formação de uma espuma que atua como uma barreira física sobre a superfície do material em combustão, especialmente em líquidos inflamáveis. Essa barreira promove o abafamento, reduzindo o contato com o oxigênio e, conseqüentemente, impedindo a propagação das chamas. Trata-se de um agente extintor altamente versátil, pois pode ser diluído em água doce, salgada ou salobra, o que representa uma vantagem significativa em ambientes onde a água potável é limitada ou indisponível, como é o caso de instalações *offshore* (KIM, 2022). Na Figura 8, é possível observar a utilização do LGE para combate a um incêndio de classe B.

Figura 8 - Uso do LGE no combate a incêndio



Fonte: Bucka, 2025

Entretanto, seu uso requer equipamentos específicos para aplicação e depende de uma compatibilidade adequada com o material em combustão, podendo comprometer a eficácia do combate ao incêndio. Em casos de incêndios de classe C, que envolvem equipamentos elétricos energizados, a aplicação do LGE pode representar risco de choque elétrico, tornando-o inadequado, assim como ocorre com todos os sistemas baseados em água.

- **Pó Químico**

Para incêndios de classe C, a utilização de pó químico é considerada um método de extinção altamente eficaz. Sua ação baseia-se na supressão da chama por meio da inibição da reação em cadeia. Os pós químicos são compostos por substâncias sólidas, finamente divididas em cristais secos, sendo dispersos com o auxílio de um gás propulsor inerte e não tóxico.

Como exemplos de agentes extintores em pó, destaca-se o pó químico ABC, composto por fosfato monoamônico, indicado para incêndios das classes A, B e C. Outro exemplo é o pó químico BC, geralmente formulado com bicarbonato de sódio ou bicarbonato de potássio (BRAGA; ALVES, 2012). Além disso, existem pós químicos específicos para incêndios de classe D, cuja aplicação varia de acordo com o tipo de metal em combustão, sendo utilizados, por exemplo, grafite, cloreto de sódio ou pó de cobre.

No entanto, o uso do pó químico apresenta algumas limitações, como a significativa redução da visibilidade no ambiente, o que pode comprometer a segurança e a mobilidade das equipes de combate. Além disso, a recuperação e a limpeza do resíduo deixado pelo agente extintor são, em muitos casos, difíceis ou até mesmo inviáveis (GUERRA; COELHO; LEITÃO, 2006).

- Agentes Gasosos

Por sua vez, os agentes extintores gasosos apresentam ampla aplicabilidade, sendo eficazes no combate a incêndios das classes A, B e C. Uma de suas principais vantagens é a preservação dos equipamentos e instalações do ambiente protegido, além de permitirem a retomada rápida das atividades, especialmente quando comparados aos sistemas à base de água. No entanto, seu custo elevado limita seu uso a contextos nos quais o patrimônio protegido possui alto valor financeiro, técnico ou histórico (SILVA, 2012).

Silva (2012) ainda expõe que os agentes gasosos mais comumente empregados pertencem a três categorias principais: os gases halogenados, os agentes limpos e o dióxido de carbono. Os Halons são hidrocarbonetos halogenados nos quais átomos como flúor, cloro e bromo substituem um ou mais hidrogênios da estrutura original. Sua identificação é feita por um código numérico de quatro dígitos, em que o primeiro representa o número de átomos de carbono, o segundo de flúor, o terceiro de cloro e o quarto de bromo. O exemplo mais comum e amplamente utilizado no mercado é o Halon 1301, ou bromotrifluormetano (GUERRA; COELHO; LEITÃO, 2006).

A atuação dos Halons na extinção de incêndios ocorre pela interrupção da cadeia de reações químicas que sustentam a combustão pela reação com os radicais intermediários do processo. Esses agentes podem ser aplicados em ambientes normalmente ocupados, conforme NFPA 2001 (2018), por um período máximo de exposição de 5 minutos, uma vez que, em baixas concentrações (por volta de 7%), não apresentavam efeitos asfixiantes e eram considerados menos perigosos do que o dióxido de carbono (CO₂).

Apesar de sua comprovada eficácia no combate a diversos tipos de incêndio, os Halons apresentam sérios impactos ambientais devido à sua contribuição significativa para a destruição da camada de ozônio. Em razão disso, sua produção e comercialização foram proibidas pelo Protocolo de Montreal, em 1987, sendo seu uso permitido apenas em aplicações específicas e consideradas essenciais.

Diante dessa restrição, passaram a ser adotados substitutos com menor potencial de degradação ambiental, conhecidos como agentes limpos. Entre eles, destacam-se os gases

inertes e os gases ativos, que oferecem desempenho eficaz na supressão de incêndios com impacto ambiental significativamente reduzido.

Os gases inertes reduzem a concentração de oxigênio no ambiente para aproximadamente 12%, nível insuficiente para sustentar a combustão. Formados principalmente por argônio e nitrogênio, são comercializados sob os nomes de Argonite, Argon e Inergen. As principais características desses agentes podem ser visualizadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Gases inertes

NOME COMERCIAL	INERGEN	ARGON	ARGONITE
NFPA - 2001	IG-54	IG-01	IG-55
Nome Químico	Argônio / Nitrogênio	Argônio	Argônio / Nitrogênio
Fórmula Química	2% nitrogênio 40% argônio 8% CO	100% Argônio	50% nitrogênio 50% argônio
Pressão de Cilindro	2.175 psi	2.370 psi	2.222 - 4.443 psi
Pressão no Redutor	1.000 psi	975 psi	950 psi
Concentração mínima de Projeto	37,5%	~37,5%	~37,5%
NOAEL	43%	~43%	~43%
Tempo de Descarga	60 seg	60 seg	60 seg
Uso em Áreas Ocupadas (NFPA)	Sim	Sim	Sim
ODP	Zero	Zero	Zero
Toxicidade	Não Tóxico	Não Tóxico	Não Tóxico

Fonte: SEITO, 2008

Entretanto, sua eficiência é relativamente baixa, comparável à do dióxido de carbono, uma vez que seu mecanismo de ação se dá exclusivamente por abafamento. Em razão disso, é necessária uma elevada concentração do gás para que se atinja o nível de oxigênio suficiente

para a extinção do fogo. Consequentemente, o volume de gás inerte a ser liberado no ambiente precisa ser, em média, seis vezes maior do que o dos gases ativos (SILVA, 2012).

Os gases ativos combatem incêndios ao remover a energia térmica presente e interromper a reação química em cadeia que sustenta a combustão. Esses agentes são compostos por diversas famílias químicas não proibidas pelo Protocolo de Montreal (1987) e são comercializados sob nomes como FM-200, FE-227 e Novec, entre outros. Suas características podem ser observadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Gases Ativos

NOME COMERCIAL	E.I DUPONT	GREAT LEAK CHEMICALS	3M	<i>NORTH AMERICAN FIRE GUARDIAN</i>
Nome Comercial	FE-13	FM-200	CEA-410	NAF-S-III
NFPA - 2001	HFC-23	HFC-227ea	FC-3-1-10	Mistura A de HCFC's
Nome Químico	Tri-Flúor-Metano (HFC)	Hepta-Fluor- Propano (HFC)	Perfluor- Butano (PFC)	Mistura de HCFC's
Fórmula Química	CHF ₃	CF ₃ CHF ₂ CF ₃	C ₄ F ₁₀	HCFC-22 (82%) HCFC-123 (4,75%) CCFC-124 (9,5%)
Pressão	609 psi	360 psi	360 psi	360 psi
Concentração mínima de Projeto	16,8%	7%	6%	8,6%
NOAEL	30%	9%	40%	12%
Tempo de Descarga	< 10 seg	< 10 seg	< 10 seg	< 10 seg
Uso em Áreas Ocupadas (NFPA)	Sim	Sim	Sim	Sim
ODP	Zero	Zero	Zero	0,044
Toxicidade	65%	80%	80%	32%

Produtos de Decomposição	HF e os gerados no incêndio	HF e os gerados no incêndio	HF e os gerados no incêndio	HF e os gerados no incêndio
-----------------------------	--------------------------------	--------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------

Fonte: SEITO, 2008

São substâncias não asfixiantes que atuam tanto inibindo a reação entre combustível e comburente quanto resfriando o foco do incêndio. Devido a essa dupla ação, apresentam maior eficiência em comparação aos gases inertes, exigindo concentrações menores para extinguir o fogo (SEITO, 2008).

Cabe ressaltar que todos os gases inertes e a maioria dos gases ativos apresentam *Ozone Depletion Potential* (ODP), em tradução livre “Potencial de Destruição da Camada de Ozônio”, igual a zero, com exceção do NAF-S-III, que possui um ODP de 0,044. Isso evidencia a viabilidade ambiental desses agentes na preservação da camada de ozônio, tornando-os alternativas eficazes e sustentáveis aos antigos gases halogenados, como os CFCs.

Além disso, outro parâmetro relevante é o *No Observed Adverse Effect Level* (NOAEL), em tradução livre “Nível de Efeitos Adversos Não Observados”, que corresponde à maior concentração de um determinado agente na qual não se observa nenhuma reação, efeito adverso ou sintoma em seres humanos expostos a essa atmosfera (SEITO, 2008). Os gases inertes apresentam NOAEL em torno de 43%, o que evidencia sua alta margem de segurança para uso em áreas ocupadas. Já entre os gases ativos, os valores de NOAEL são mais variados, com o CEA-410 destacando-se como o mais seguro, com um NOAEL de 40%, enquanto o FM-200 apresenta o menor valor, de apenas 9%, indicando que pode causar efeitos adversos em concentrações relativamente baixas.

Desse modo, agentes limpos têm ganhado destaque visto que não reduzem de forma significativa a concentração de oxigênio no ambiente, além de promover uma rápida absorção de calor, extinguindo o fogo de forma eficaz. São especialmente indicados para ambientes com equipamentos eletrônicos sensíveis, pois não deixam resíduos, não conduzem eletricidade e não causam danos aos materiais protegidos, mas possuem um custo maior em comparação com CO₂.

O CO₂, por sua vez, é um dos agentes gasosos mais utilizados, especialmente em ambientes sem presença humana, como salas de máquinas e depósitos. A extinção ocorre pela supressão do oxigênio. No entanto, devido ao seu potencial asfixiante, seu uso é restrito a locais desocupados durante a descarga. São utilizados por meio principalmente de sistemas fixos de combate a incêndio para abranger uma grande área e proporcionar uma resposta rápida e eficaz na extinção de incêndios, minimizando danos a equipamentos e garantindo a segurança de ambientes críticos.

4.3 SISTEMA FIXO DE COMBATE A INCÊNDIO POR CO₂

Um sistema fixo de combate a incêndio consiste em, segundo a NBR 12232 (2015), uma instalação permanente composta por cilindros de agente extintor, tubulações, válvulas, difusores, sistema de detecção, sinalização e alarme, além de painel de comando e demais acessórios. Seu objetivo é extinguir incêndios por meio da descarga controlada de um agente extintor no interior do ambiente protegido.

O dióxido de carbono devido ao seu baixo custo e ampla disponibilidade tornou-se o principal agente utilizado para esses sistemas. Considerando que o acidente em questão envolveu esse agente, conforme descrito no relatório da ANP (2023), o CO₂ será adotado como referência na abordagem dos sistemas fixos de combate a incêndio ao longo deste trabalho. Na Figura 9, é possível observar um esquemático de um sistema de dióxido de carbono.

Figura 9 - Esquemático de sistema de combate a incêndio por CO₂



Fonte: Adaptado de SENIOR SERVICE, 2024

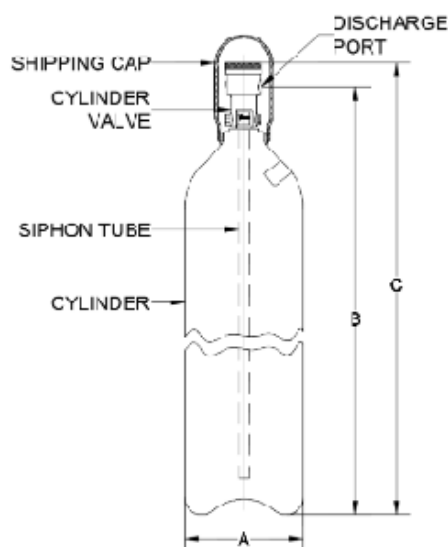
Pela figura, observa-se que o agente extintor, neste caso o CO₂, deve ser armazenado em cilindros de alta pressão, contendo um tubo coletor que possibilita sua transferência ao sistema de tubulação pela diferença de pressão. A válvula de controle regula a liberação do fluido em direção aos bicos nebulizadores, responsáveis pela dispersão do gás nos diferentes pontos da planta protegida. O acionador elétrico permite a automatização do sistema, normalmente interligado a dispositivos de detecção de fogo, fumaça ou temperatura, bem como a botoeiras de emergência. Além disso, o pressostato realiza o monitoramento da pressão do sistema, sinalizando a necessidade de eventuais intervenções de manutenção.

- **Cilindros de Alta Pressão**

O dióxido de carbono deve ser armazenado em estado liquefeito em cilindros de aço-carbono recarregáveis de alta pressão com capacidade volumétrica nominal de 67 litros, carregados com 45 kg de gás (NBR 12232, 2015). Os cilindros devem ser fabricados conforme

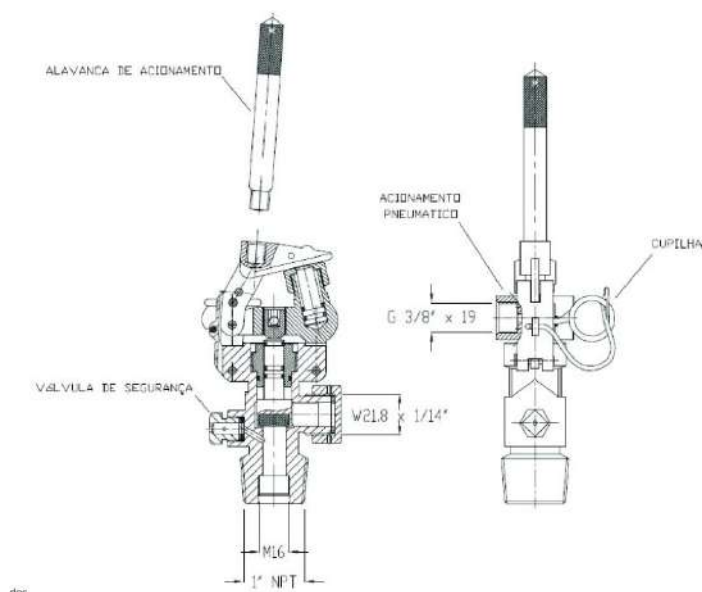
a ABNT NBR 12639:2005 e equipados com válvula de descarga, tubo sifão, dispositivo de segurança do tipo disco de ruptura e tampa de proteção da válvula de descarga conforme Figura 10. Devem ainda dispor de suporte de fixação, permitindo a pesagem individual e garantindo a estabilidade dos equipamentos durante o armazenamento e operação. Cada cilindro da bateria ainda deve possuir uma válvula conectada à parte superior conforme Figura 11.

Figura 10 - Cilindros de CO₂



Fonte: FIKE, 2018

Figura 11 - Esquema Válvula dos Cilindros de CO₂



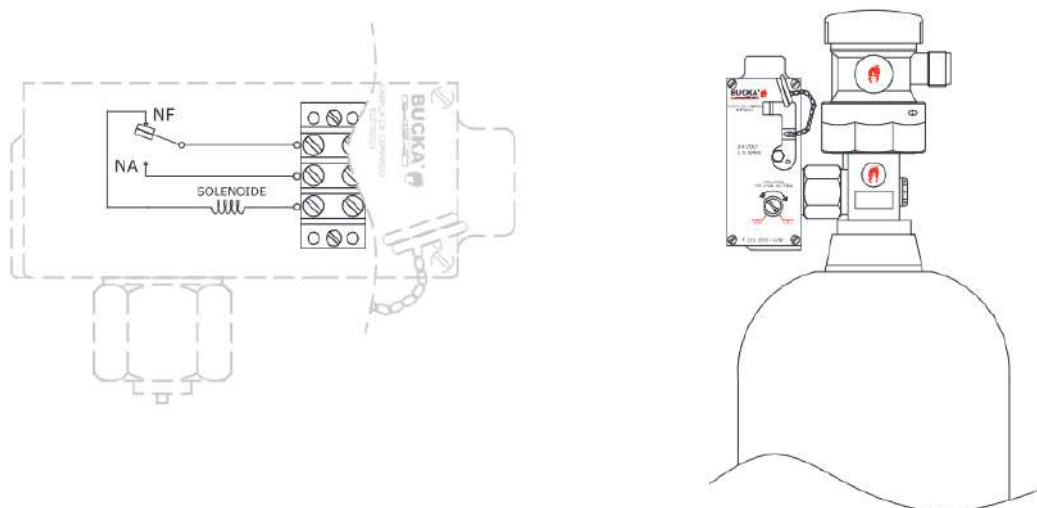
Fonte: Bucka, 2025

O sistema requer a presença de uma alavanca de acionamento manual, utilizada em situações em que a liberação do agente extintor precise ser realizada de forma direta e imediata.

Além disso, a válvula de segurança possui um disco que rompe em casos de pressões internas altas, projetada para alívio automático da pressão interna dos cilindros em caso de variações significativas de temperatura como o superaquecimento prevenindo, assim, possíveis falhas estruturais ou acidentes. A válvula ainda possui pontos de conexão adequados para o acoplamento de mangueiras flexíveis e resistentes à alta pressão, as quais integram o sistema de condução do agente extintor.

Para que o sistema opere de forma automática, é necessário o uso de dispositivos de comando eletrônico, que atuam diretamente sobre a válvula de descarga, permitindo a liberação do dióxido de carbono (Figura 12). Assim, quando os demais componentes do sistema de detecção e alarme são acionados, como sensores de fumaça, temperatura ou botoeiras de emergência, um sinal elétrico é enviado à cabeça de comando. Esse sinal é transmitido por meio de um circuito elétrico ligado ao painel de controle central, que monitora continuamente as condições do ambiente. Ao receber o comando, a cabeça de acionamento ativa a solenoide eletromagnética, abrindo a válvula principal e liberando o gás para a rede de distribuição. Esse processo garante uma resposta rápida e automática diante da detecção de um princípio de incêndio, contribuindo para a eficácia do sistema de supressão.

Figura 12 - Esquema de Cilindro Piloto + Comando Elétrico para Sistemas Fixos de CO₂



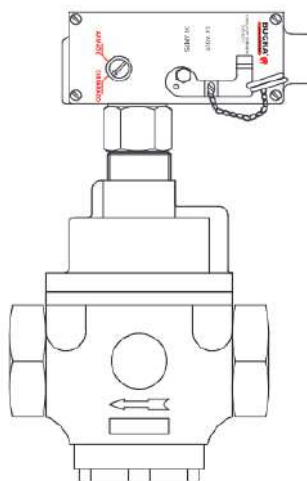
Fonte: Bucka, 2025

- Válvulas

Outras válvulas também desempenham papéis importantes em um sistema fixo de combate a incêndio, destacando-se as válvulas direcionais e as válvulas de lockout. As válvulas

direcionais são utilizadas em sistemas que abastecem diversos compartimentos ou setores de risco a partir de uma única bateria de cilindros. Elas permitem que o fluxo do agente extintor seja direcionado exclusivamente para a área onde o incêndio foi detectado, otimizando o uso do gás. A abertura dessas válvulas é controlada automaticamente por meio de cabeças de comando eletrônico acopladas aos seus corpos. Dessa forma, ao identificar o foco do incêndio, o sistema envia um sinal elétrico que aciona apenas as válvulas direcionais responsáveis por conduzir o agente extintor até o setor correspondente. A Figura 13 ilustra a integração entre a válvula direcional e o dispositivo de comando eletrônico.

Figura 13 - Esquema de Válvula Direcional + Comando Elétrico para Sistemas Fixos de CO₂



Fonte: Bucka, 2025

Em relação à válvula de lockout, a NFPA 12 (2022) recomenda que os sistemas de tubulação destinados à distribuição do CO₂ devem ser equipados com uma válvula manual de bloqueio, conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14 - Válvula Lockout para Sistemas Fixos de CO₂



Fonte: Bucka, 2025

Essa válvula tem como principal função inibir o acionamento acidental ou não autorizado do sistema de supressão, atuando como medida de segurança adicional para a proteção de pessoas. Sua aplicação é especialmente importante durante procedimentos de manutenção preventiva ou corretiva, nos quais pode ser necessário isolar temporariamente o sistema. Por exemplo, durante a substituição de componentes de equipamentos localizados na área protegida, a válvula pode ser manualmente fechada, evitando a liberação indevida do agente extintor.

Considerando as propriedades asfixiantes do dióxido de carbono, cuja concentração necessária para extinção de incêndios é prejudicial à vida humana, sua descarga automática é proibida em ambientes ocupados (KIM, 2022). Para reduzir o risco de asfíxia, foram desenvolvidos mecanismos complementares, como o sistema denominado “double check”, que associa a detecção automática de incêndio pelos detectores de gás ou acionamento da botoeira física na sala à necessidade de uma confirmação manual por um operador em sala de controle. Dessa forma, a liberação do CO₂ somente ocorre após a verificação consciente da ocorrência de um princípio de incêndio, aumentando a segurança operacional do sistema.

- Detectores

Segundo a NBR 17240 (2010), “A seleção do tipo e do local de instalação dos detectores deve ser efetuada com base nas características mais prováveis de um princípio de incêndio e do julgamento técnico, considerando-se os parâmetros: aumento da temperatura, produção de fumaça, produção de chama, materiais existentes nas áreas protegidas, forma e altura do teto, ventilação do ambiente, temperaturas típica e máxima de aplicação, entre outras características de cada instalação, conforme requisitos técnicos dos equipamentos.”

Os detectores pontuais do tipo fumaça são utilizados em locais onde os materiais presentes, em caso de combustão, produzem fumaça. Caso haja a presença de vapor, gases ou partículas em suspensão, esse tipo de detector pode alarmar de forma indesejável, sendo necessário avaliar outros tipos de detecção.

Umas das alternativas são os detectores pontuais de temperatura, que detectam combustões que geram muito calor e pouca fumaça. Podem ser de dois tipos: temperatura fixa e termovelocimétricos. O primeiro detecta quando é atingida determinada temperatura, já o segundo detecta caso haja uma elevação brusca de temperatura.

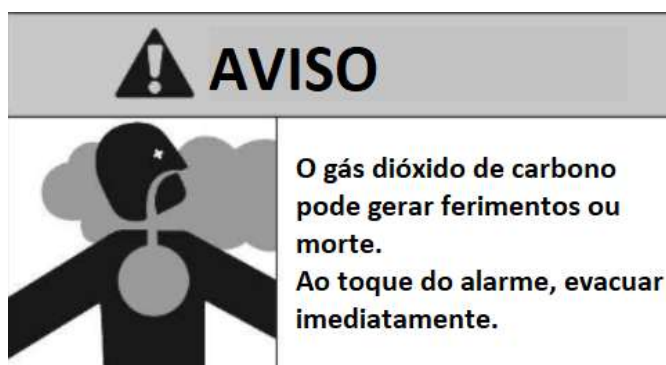
Detectores do tipo chama funcionam ao detectar o surgimento de uma chama. Sua instalação não deve ser realizada em locais onde possa haver bloqueio no campo de visão do

detector. São comumente utilizados em regiões abertas ou semi-abertas onde ventos podem dissipar a fumaça e o calor.

- Sinalizações Visuais e Sonoras

Segundo a NFPA 12 (2022), uma série de sinalizações deve ser utilizada em ambientes contemplados por sistema de combate a incêndio por CO₂, incluindo visuais e sonoras. Placas devem ser posicionadas nas entradas desses ambientes, indicando os riscos do sistema em questão, conforme Figura 15.

Figura 15 - Placa de sinalização para Sistemas Fixos de CO₂



Fonte: Adaptado NFPA, 2022

Além disso, deve constar nesses locais alarmes visuais e sonoros, os quais não podem ser semelhantes ao alarme geral da plataforma. O sistema de aviso inclui equipamentos como alto-falantes e giroflex, vide Figura 16. O alarme deverá possuir um temporizador, permitindo assim a evacuação de indivíduos no local antes da ativação do sistema de gás carbônico.

Figura 16 - Giroflex e alto-falante de sistema de incêndio



Fonte: ABC alarmes, 2025

- Tubulações

O sistema de tubulações tem a função de conduzir o agente extintor dos cilindros até os difusores localizados nas áreas protegidas. No caso do dióxido de carbono, o agente é armazenado em estado líquido sob alta pressão. Durante o percurso pela tubulação, ocorre uma queda de pressão que promove a vaporização parcial do líquido, formando uma mistura bifásica de líquido e vapor. A fricção ao longo das tubulações intensifica esse processo, aumentando o volume e a velocidade do fluxo, o que acentua a perda de pressão, especialmente nas extremidades do sistema (NFPA 12, 2022).

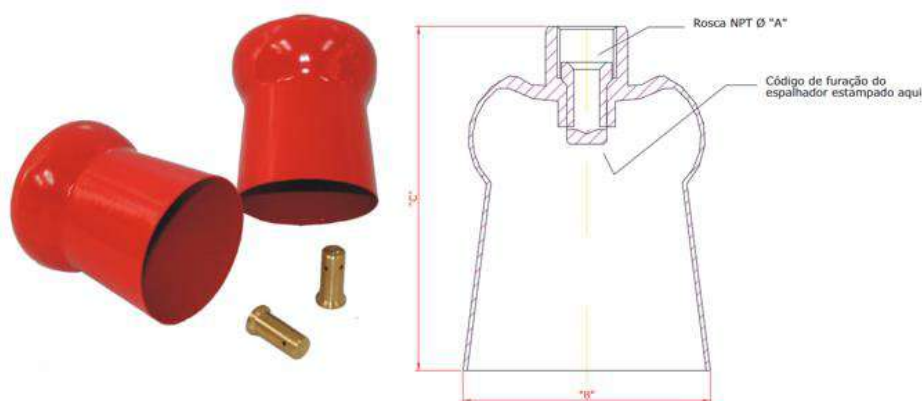
Conforme estabelece a NBR 12232 (2015), os tubos e conexões devem ser metálicos, preferencialmente zincados ou galvanizados, e dimensionados para suportar as exigências operacionais do sistema, como variações bruscas de pressão e temperatura durante o acionamento.

- Difusores

Os difusores são equipamentos que permitem a injeção de dióxido de carbono em um ambiente regido pelo sistema fixo de incêndio. Eles são a porção terminal das tubulações e devem ser instalados de forma a assegurar a gaseificação e a distribuição uniforme do CO₂, sem ocorrência de congelamento interno durante a liberação do agente extintor (NBR 12232, 2015).

Devem ser fabricados em metal resistente à corrosão, com propriedades compatíveis às pressões e temperaturas de operação previstas, além de apresentar resistência a danos mecânicos e à ação de substâncias químicas às quais possam estar expostos (NBR 12232, 2015). A figura 17 ilustra um difusor de CO₂ do tipo "Copo". Seu formato possibilita a liberação de grandes volumes de gás sem o risco de congelamento. Na parte interna, os espalhadores com furação calibrada garantem uma vazão adequada, conforme os cálculos hidráulicos específicos.

Figura 17 - Difusor de CO₂ do tipo "Copo"



Fonte: Bucka, 2025

- Dióxido de Carbono (CO₂)

O dióxido de carbono é amplamente utilizado como agente extintor em sistemas de combate a incêndio, atuando principalmente por meio do abafamento. Esse mecanismo é possível devido à maior densidade do CO₂ em relação ao ar atmosférico, o que permite o deslocamento do oxigênio presente no ambiente, reduzindo sua concentração a níveis insuficientes para sustentar a combustão.

Um estudo realizado pela Environmental Protection Agency (EPA), em tradução livre “Agência de Proteção Ambiental dos EUA”, no ano 2000, destaca diversas propriedades do dióxido de carbono que o tornam um agente extintor eficaz:

- **Não combustível:** O CO₂ não queima e não gera subprodutos de decomposição;
- **Autopressurização:** O gás fornece sua própria pressão para descarga, dispensando a superpressurização do recipiente;
- **Sem resíduos:** Não deixa resíduos após o uso, eliminando a necessidade de limpeza do agente extintor;
- **Compatibilidade química:** É relativamente inerte, com baixa reatividade com a maioria dos materiais;
- **Proteção tridimensional:** Por ser um gás, oferece cobertura completa do ambiente;
- **Não condutor elétrico:** Pode ser usado com segurança em áreas com equipamentos elétricos energizados.

Entretanto, o poder de extinção do CO₂ é relativamente baixo, tornando-se necessária altas concentrações desse gás no ambiente para que a extinção do fogo seja eficaz. A Tabela 4

apresenta os valores mínimo e máximo de concentração de gás carbônico recomendados para a supressão de incêndios, de acordo com os diferentes tipos de materiais combustíveis.

Tabela 4 - Concentrações de CO₂ para extinção - Principais combustíveis

Material	Concentração Mínima Teórica de CO₂ (%)	Concentração Mínima de Projeto de CO₂ (%)
Gasolina	28	34
Etanol	36	43
Hidrogênio	62	75
Etano	33	40
Combustível de Aviação	30	36
Metano	25	34
Querosene	28	34
Hidrocarboneto	28	34

Fonte: Adaptado NFPA 12, 2022

Embora o dióxido de carbono (CO₂) seja altamente eficaz na extinção de incêndios, seu uso em sistemas fixos exige cuidados rigorosos devido aos riscos que oferece à saúde humana. Para que o fogo seja extinto de forma eficiente, é necessário reduzir a concentração de oxigênio no ambiente para níveis entre 10% e 12%, o que representa um valor significativamente inferior ao mínimo seguro para a respiração humana (SILVA, 2012).

Segundo a NR-15, Anexo 11 (2021), em ambientes de trabalho cuja presença de substâncias classificadas como asfixiantes simples é prevista, a concentração mínima de oxigênio deverá ser 18% por cento. As situações nas quais a concentração de oxigênio estiver abaixo deste valor serão consideradas de risco grave e iminente. Dessa forma, os sistemas que utilizam CO₂ devem contar com dispositivos de alarme e prever um tempo mínimo de retardo na liberação do agente, permitindo a evacuação segura antes da descarga, conforme estabelecido pela NFPA 12 (2022).

Ademais, o aumento da concentração de CO₂ no ambiente impacta diretamente o mecanismo de regulação da eliminação do gás pelos pulmões. A concentração do gás no ar determina a taxa na qual o dióxido de carbono é expirado, dessa forma alterando a concentração no sangue e nos tecidos. Essa alteração pode desencadear uma série de efeitos adversos à saúde ao reduzir a eliminação de CO₂ e, conseqüentemente, o aporte de gás oxigênio (NFPA, 2022).

A Tabela 5 apresenta os diferentes efeitos fisiológicos observados em função das concentrações de CO₂ no ar.

Tabela 5 - Efeitos na saúde de altas concentrações de dióxido de carbono

Concentração de CO₂ no Ar (%)	Tempo	Efeitos
2%	Várias horas	Dor de cabeça, dispneia durante esforço leve
3%	1 hora	Dilatação dos vasos sanguíneos cerebrais, aumento da ventilação pulmonar e maior entrega de oxigênio aos tecidos
4 – 5%	Em poucos minutos	Dor de cabeça leve, sudorese e dispneia em repouso
6%	1–2 minutos	Distúrbios visuais e auditivos
	<16 minutos / Várias horas	Dor de cabeça e dispneia, tremores
7 – 10%	Poucos minutos	Inconsciência ou quase inconsciência
	1,5 minuto – 1 hora	Dor de cabeça, aumento da frequência cardíaca, falta de ar, tontura, sudorese e respiração acelerada
10 – 15%	Mais de 1 minuto	Tontura, sonolência, contrações musculares severas e perda de consciência
17 – 30%	Menos de 1 minuto	Perda de coordenação e de atividade proposital, inconsciência, convulsões, coma e morte

Fonte: Adaptado NFPA 12, 2022

5 ACIDENTE PLATAFORMA P-19

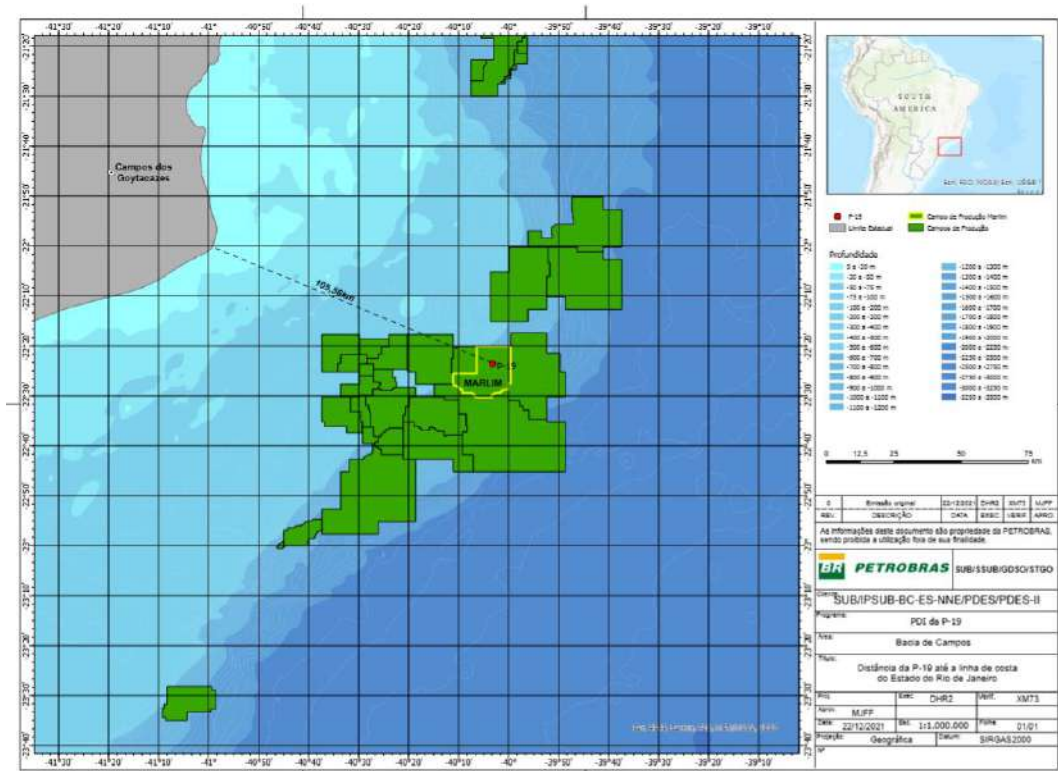
No dia 02 de agosto de 2022, a ANP foi comunicada sobre uma fatalidade que ocorreu na Plataforma P-19, da Petrobras. O fato ocorreu após um acionamento espúrio (indevido) de um sistema de combate a incêndio por dióxido de carbono enquanto quatro trabalhadores realizavam uma manutenção na sala de motogeradores a diesel auxiliares da plataforma. Por conta da característica asfixiante do gás, um dos trabalhadores veio a óbito. Com isso, a fim de

se aprofundar no acidente em questão, a ANP divulgou em 2023 um relatório investigativo sobre o caso, utilizado como alicerce para a construção dos tópicos seguintes do capítulo.

5.1 DESCRIÇÃO DA PLATAFORMA P-19

A plataforma P-19 (Petrobras 19), é uma instalação *offshore* semissubmersível localizada na Bacia de Campos, no campo de Marlim, a 179 km da costa de Macaé, como pode ser visto na Figura 18 abaixo.

Figura 18 - Mapa de Localização da P-19 na Bacia de Campos



Fonte: Petrobras, 2023

Inicialmente, a instalação foi projetada para operar como uma sonda de perfuração, sendo posteriormente convertida em uma unidade de produção em 1997. A Tabela 6 apresenta as características gerais da P-19.

Tabela 6 - Informações gerais da plataforma P-19

a) Nome da Unidade de Produção:	PETROBRAS 19.
b) Código da unidade de produção:	P-19.
c) Classificação:	SS (Semi Submersible).
d) Proprietário:	Petróleo Brasileiro S/A.
e) Operador:	Petróleo Brasileiro S.A. – Petrobras.

f) Data término Contrato Afretamento	Não aplicável.
g) Ano de Construção e Conversão:	Construção: 1982 e Conversão: 1997.
h) Massa (Descomissionamento) – peso leve (t):	21.332,27 t.
i) Calado Máximo:	22,0 m.
j) Áreas sob Contrato atendidas:	A P-19 faz parte do Sistema de Produção do Campo de Marlim
k) Profundidade Batimétrica - LDA (m):	770 m.
l) Distância da Costa (km):	179 km.
m) Coordenadas Geográficas (SIRGAS 2000):	Latitude: 22:23:34,057” Longitude: 40:03:16,674”
n) Sistema de escoamento da produção:	Gás: Constitui-se em um gasoduto P-19/P-18 (exportação de gás), um gasoduto P-19/P-33(importação/exportação de gás). Exportação da produção via dois oleodutos que interligam P-19 ao MIS-MRL1(PLEM-1).

Fonte: Petrobras, 2023

Hoje, a plataforma encontra-se em processo de descomissionamento devido ao Projeto de Revitalização dos Campos de Marlim e Voador (REVIT). Conforme exposto pelo Programa de Descomissionamento de Instalações (PDI) da Plataforma Semissubmersível P-19 (PETROBRAS, 2023), seu escopo prevê a instalação de duas plataformas do tipo FPSO (*Floating, Production, Storage and Offloading*) para substituírem as unidades que atualmente integram o Sistema de Produção do Campo de Marlim, dentre elas: P-18, P-19, P-20, P-26, P-32, P-33, P-35, P-37 e P-47.

5.1.1 Descrição do Sistema de Combate a Incêndio com CO₂ na Plataforma P-19

O dióxido de carbono é um gás inerte utilizado na plataforma como agente extintor em casos de incêndios. Sua atuação baseia-se na redução da concentração de oxigênio no ambiente, limitando a sustentação da combustão. É comumente empregado em áreas que abrigam componentes eletrônicos, onde a aplicação de sistemas de dilúvio à base de água não é recomendada.

Conforme relatório da ANP (2023), o sistema de combate a incêndio com CO₂ na plataforma P-19 é composto por dois grupos de 60 cilindros, com peso de aproximadamente 45 kg cada unidade, sendo um dos grupos correspondentes à bateria reserva. Possui também tubos coletores, válvulas de cabeça de cilindro, válvulas direcionais, lâmpadas de sinalização, sirenes,

bicos nebulizadores e botoeiras de disparo (atuação manual do sistema). Dentre as áreas da plataforma cobertas pelo sistema, é possível citar:

- sala de rádio;
- sala de telecomunicações;
- sala do gerador diesel de emergência;
- sala do controle central;
- sala de painéis essenciais;
- sala dos motogeradores diesel auxiliares, entre outros.

O foco do trabalho será a sala dos motogeradores diesel auxiliares (EMD's), onde ocorreu o acidente. Por ser a maior sala atendida pelo sistema de combate a incêndio com CO₂, os 60 cilindros da bateria principal são ativados em caso de emergência.

A Figura 19 mostra parcialmente a estrutura da sala de cilindros da plataforma. Nela é possível notar que todos os cilindros estão conectados por meio de um header (tubulação principal de distribuição), onde um sistema instrumentado de segurança elétrico inicia a descarga do grupo selecionado de cilindros de acordo com a área.

Figura 19 - Foto parcial da sala dos cilindros de CO₂

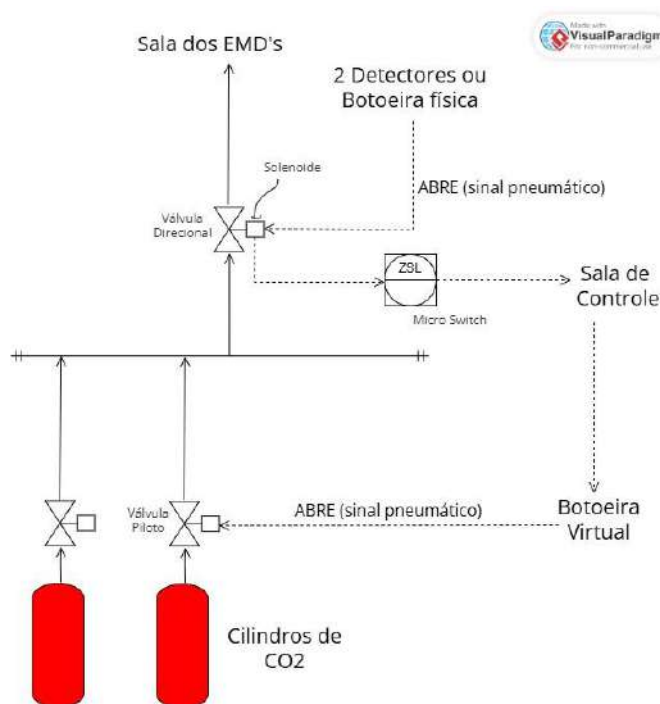


Fonte: ANP, 2023

Para o direcionamento correto da descarga, válvulas direcionais realizam o alinhamento entre tubulação e a área protegida. Essas válvulas possuem um comando elétrico composto por uma bobina solenoide com acionamento elétrico ou manual local. Na parte elétrica, existe um *micro switch* que atua de modo a confirmar a existência de comando para a válvula direcional.

Na Figura 20, é possível visualizar um esquemático do sistema de extinção de incêndio por CO₂ da P-19.

Figura 20 - Esquemático do sistema de CO₂ da P-19



Fonte: elaboração própria.

As válvulas direcionais estão localizadas nas tubulações que levam o gás até cada uma das salas contempladas pelo sistema de incêndio. Cada uma dessas tubulações parte de um header, responsável pela união de todas as descargas dos cilindros e direcionamento delas. Na descarga dos cilindros de gás carbônico, há válvulas piloto, que agem como uma barreira entre o gás nos cilindros e as salas a serem protegidas.

A válvula direcional é aberta para o local indicado quando ocorre a ativação ou por botoeira física, ou pelos detectores de incêndio localizados no interior da sala. Ao abrir, a válvula energiza a sua *micro switch*, que atua como um indicador de posição. Quando aberta, ela gera um sinal para a sala de controle, exigindo confirmação por parte do operador para que haja a continuidade do sistema de combate a incêndio. Em caso positivo, o operador ativa a abertura das válvulas piloto por meio de uma botoeira virtual, liberando o gás carbônico para as salas que estiverem com suas válvulas direcionais abertas.

Conforme NFPA 12 (2022), para salas que não são permanentemente habitadas, que é o caso para a de motogeradores diesel auxiliares, há a necessidade de detecção confirmada de pelo menos 2 detectores ou o acionamento manual para que haja o início da descarga de gás carbônico. A norma indica que a descarga do gás deverá ser precedida por um sinal de alarme

sonoro, no interior da sala, antes da liberação do gás. O temporizador para o alarme deverá ser projetado tendo em vista tempo suficiente para a evacuação total de profissionais no local mais distante da saída. Levando em consideração que a sala dos EMD's é o maior ambiente protegido pelo sistema de CO₂, a Petrobras determinou 30 segundos para a evacuação.

5.1.2 Estruturação da Sala dos EMD's

Com o intuito de entender como ocorreu o acidente, é de extrema importância a consciência acerca da estruturação da sala dos EMD's. A sala é composta por quatro motogeradores idênticos, cuja função na plataforma é de fornecer energia elétrica de backup ou complementar para diversas operações críticas (energia de emergência, por exemplo).

Além dos quatro equipamentos, a sala é composta por uma monovia e uma área de carga e descarga. O chão entre os geradores é composto por um piso gradeado e elevado, com indicação de uma das rotas de fuga por meio de um tapete verde com setas brancas, conforme Figura 21.

Figura 21 - Tapete com indicação da rota de fuga da sala dos EMD's



Fonte: ANP, 2023

Como sistema de segurança, a sala apresenta três conjuntos de alarmes visuais e audíveis de dióxido de carbono (auto falante e giroflex de cor vermelha). Além disso, há um auto falante do alarme geral da plataforma, conforme Figura 22. Por fim, a sala é protegida por um sistema de aspersão de CO₂ abrangendo toda a área, vide Figura 23.

Figura 22 - Conjunto de alarmes de CO₂ e geral da plataforma



Fonte: ANP, 2023

Figura 23 - Aspensor de CO₂ na sala dos EMD's



Fonte: ANP, 2023

5.2 CRONOLOGIA DE EVENTOS

No dia 02 de agosto de 2022, a ANP recebeu a Comunicação Inicial de Incidente 2208/000010, por meio do Sistema Integrado de Segurança Operacional (SISO), conforme a Resolução N° 882. O comunicado reportava uma fatalidade na plataforma da Petrobras P-19, onde quatro colaboradores realizavam o serviço de manutenção na sala dos motogeradores a diesel. Durante a realização dos serviços, houve o acionamento espúrio do sistema de combate a incêndio por gás carbônico.

A cronologia de eventos, que se desencadearia no acidente fatal algumas horas depois, se inicia no dia anterior, 01 de agosto, onde duas equipes de empresas terceirizadas foram designadas para a limpeza da sala dos motogeradores a diesel. A motivação da limpeza no local foi decorrente da presença de óleo no piso da sala. Dois funcionários da empresa GranIHC estavam responsáveis pela retirada dos pisos gradeados, enquanto os outros dois funcionários da Engeman pela limpeza. A equipe da primeira empresa era composta por dois caldeireiros, ao passo que a segunda era formada por um profissional especializado em jateamento abrasivo (jatista) e um auxiliar de jateamento.

No dia 2 de agosto, por volta das 8:00h, foram emitidas as permissões de trabalho para a execução das atividades na sala dos EMD's. Todavia, instantes antes da emissão das permissões referentes à limpeza da sala dos motogeradores, foi autorizada uma outra PT para a realização de um serviço de limpeza na sala onde se encontram os cilindros de CO₂, utilizando-se de jato d'água.

Por volta de 09:20h, o procedimento de limpeza na sala dos EMD's estava sendo realizado pelos funcionários da Engeman, enquanto os caldeireiros da GranIHC aguardavam para recolocar os pisos gradeados no local. Minutos após o início da atividade, às 09:34h, o alarme geral da unidade é acionado, juntamente do sistema de combate a incêndio com CO₂, direcionando o fluxo para a sala onde os funcionários se encontravam. Simultaneamente, na sala das baterias de cilindros, houve o rompimento da mangueira conectada a um dos cilindros, inundando a sala com o gás. Entretanto, a sala não estava habitada e não houve relação direta com o acidente em questão.

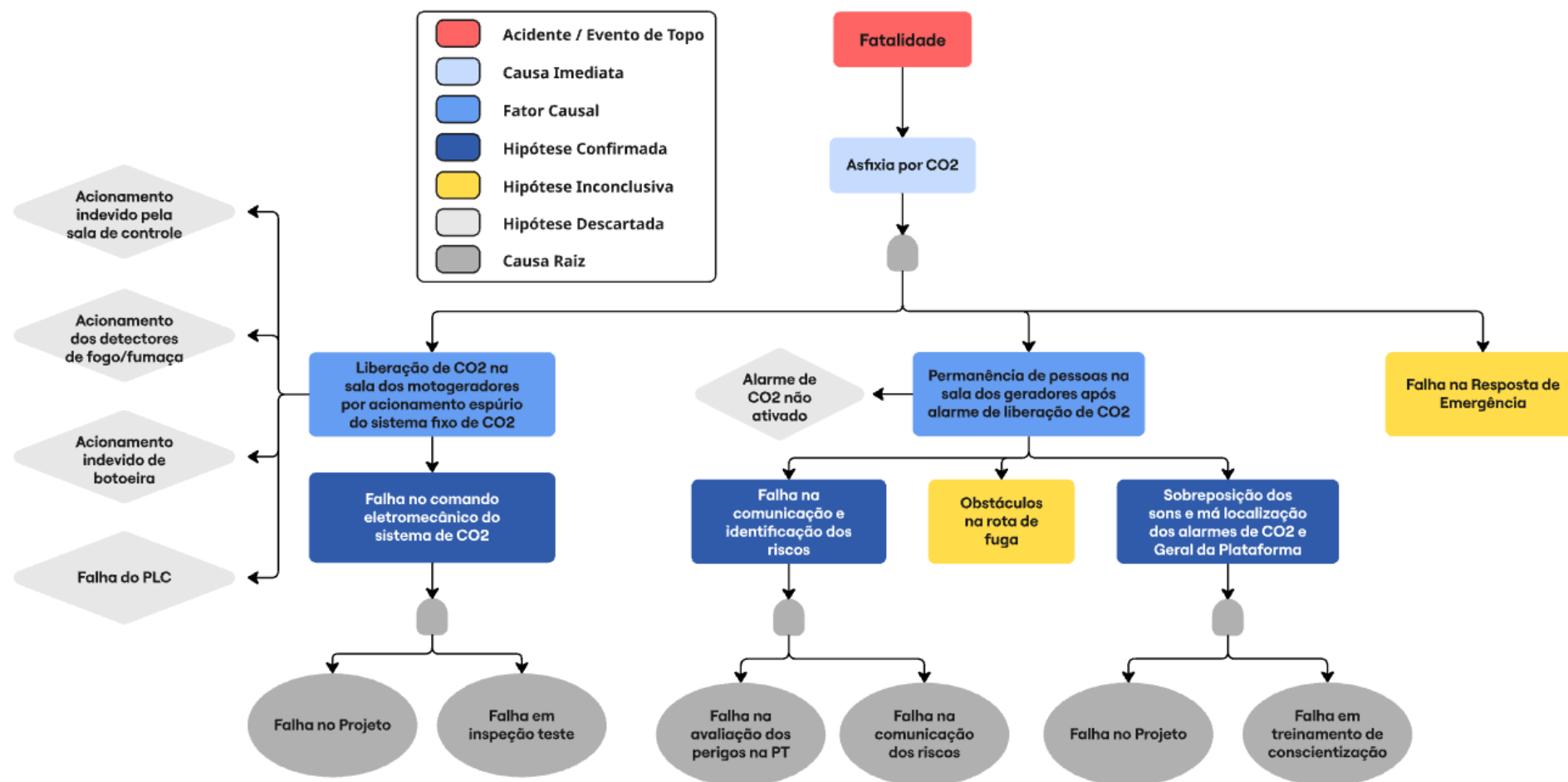
Após a identificação dos alarmes pelos trabalhadores, os quatro se dirigiram à rota de fuga mais próxima, sendo que apenas os dois funcionários da empresa Engeman conseguiram evacuar a sala com sucesso.

Dois minutos depois, às 09:36h, a ocorrência foi sinalizada no sistema Intercom e as devidas providências foram tomadas. Às 09:43h, a equipe de brigada é enviada para resgate dos funcionários presentes na sala dos motogeradores diesel. Às 09:45h, a primeira vítima foi localizada, acionando-se imediatamente a equipe de resposta emergencial. Um minuto depois, a segunda vítima é resgatada e as tentativas de primeiros socorros se iniciam em ambos os operadores. Nos momentos seguintes, o atendimento à primeira vítima continua, enquanto a segunda vítima recobra a consciência ao chegar na enfermaria. Diante da ineficácia dos primeiros socorros prestados à primeira vítima, foi acionado pelo Gerente da Plataforma o apoio para o resgate aeromédico às 10:09h, o qual foi efetivamente realizado às 11:51h. Às 12:12h, foi declarado o óbito da primeira vítima pelo médico da equipe de resgate aeromédico.

5.3 ÁRVORE DE FALHAS DO EVENTO

Para uma melhor compreensão das possíveis causas do acidente na plataforma, utilizou-se como referência bibliográfica o documento investigativo Relatório de Investigação do Incidente da P-19 divulgado pela ANP em 2023. O método investigativo baseia-se na Árvore de Falhas (FTA), cuja abordagem identifica e mapeia todas as possíveis causas que levaram a um evento indesejado a partir da decomposição em suas causas raiz e seus fatores contribuintes. Para o caso do acidente na plataforma, a Figura 24 mostra a árvore de falhas elaborada pela comissão de investigação da ANP.

Figura 24 - Árvore de falhas do acidente



Fonte: Adaptado ANP, 2023

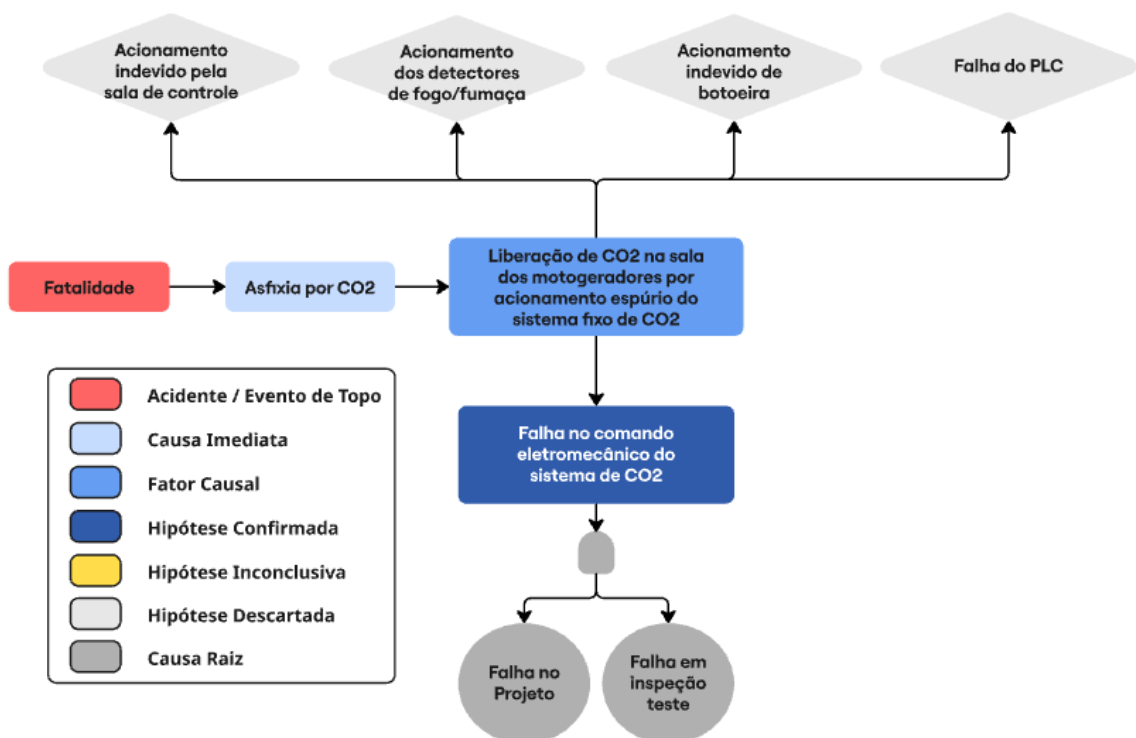
Nesse sentido, podemos compreender o acidente em questão por diferentes caminhos que convergem para a fatalidade por asfixia do operador da GrandIHC, cronologicamente:

1. A liberação indevida de CO₂ na sala dos motogeradores diesel auxiliares;
2. A permanência de pessoas na sala após alarme de liberação do CO₂;
3. Falha na Resposta de Emergência.

Vale ressaltar que os fatores causais são ocorrências ou condições indesejadas que, caso fossem eliminadas, evitariam ou reduziriam o grau de severidade do acidente em questão. Já as causas raízes são falhas ou desvios do sistema de gestão em relação às diretrizes impostas pelo Regulamento Técnico do Sistema de Gestão de Segurança Operacional (SGSO). Este regulamento é aplicável às instalações de produção e perfuração de petróleo e gás.

O primeiro fator a ser considerado como uma possível causa da fatalidade reside em entender como ocorreu o acionamento espúrio do sistema de gás carbônico. Para este caso, cinco hipóteses foram consideradas, enquanto quatro foram descartadas por serem inconclusivas.

Figura 25 - Corte árvore de falhas do acidente - 1º Fator Causal



Fonte: Adaptado ANP, 2023.

Dentre as hipóteses, tem-se:

- Acionamento indevido do sistema de CO₂ pela sala de controle - ***Descartada***

- Acionamento de detectores da sala dos motogeradores diesel auxiliares - ***Descartada***
- Falha do comando eletromecânico do sistema de CO₂ - ***Confirmada***
- Acionamento de botoeira da sala dos motogeradores diesel auxiliares - ***Descartada***
- Falha do PLC (Controlador Lógico Programável) - ***Descartada***

A terceira hipótese foi confirmada durante as investigações, enquanto as demais foram descartadas por não serem sustentadas por documentos ou evidências obtidas nas entrevistas. Assim, os itens a seguir detalham as possíveis causas para a falha no comando do sistema de dióxido de carbono.

5.3.1 Falha no projeto da sala de cilindros de CO₂

A falha no projeto da sala da bateria de cilindros pode ser analisada sob duas perspectivas distintas. A primeira diz respeito ao projeto de construção e elaboração da sala, enquanto a segunda diz respeito à lógica envolvida na ativação do sistema de incêndio e sua gestão de mudança para atender à regulamentação da NFPA 12, a fim de se implementar a dupla verificação.

- Projeto e Estruturação da sala

Primeiramente, o projeto de estruturação da sala de cilindros de CO₂ apresenta grande influência na ativação espúria do sistema de incêndio. A sala contendo a bateria de cilindros foi projetada de modo a não se utilizar de portas ou paredes, apenas venezianas para sua delimitação e separação com o ambiente externo, como exposto na Figura 26.

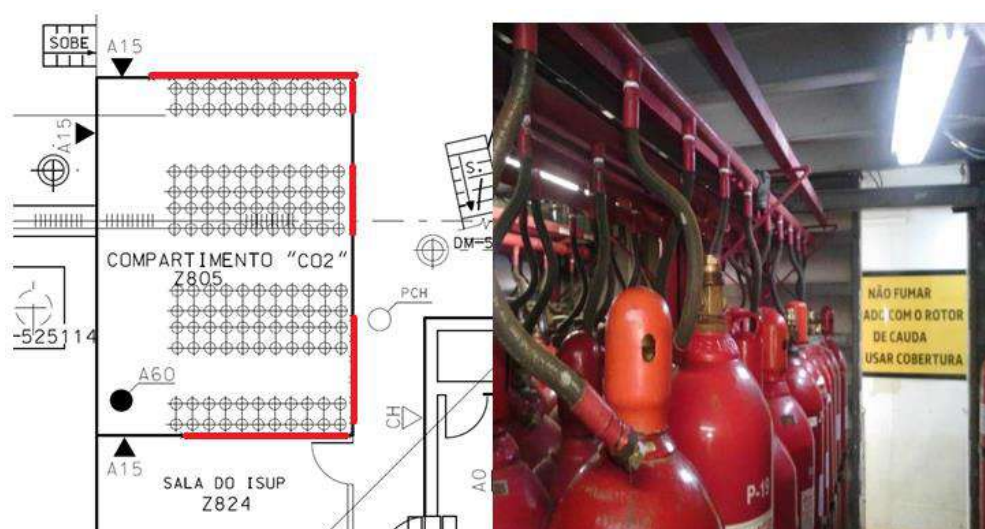
Figura 26 - Foto da parte externa da sala de baterias de CO₂



Fonte: ANP, 2023

Ainda é possível visualizar internamente a sala por meio da planta baixa que representa o compartimento dos cilindros de CO_2 utilizados no sistema de combate a incêndio da plataforma (Figura 27). Nela, observa-se que grande parte da área foi projetada com venezianas (indicadas pelas linhas vermelhas) no lugar de paredes sólidas. Essas venezianas estão localizadas a uma distância muito próxima dos cilindros de gás carbônico e, conseqüentemente, de seus equipamentos auxiliares como válvulas, mangotes, entre outros.

Figura 27 - Planta baixa da sala dos cilindros de CO_2



Fonte: ANP, 2023

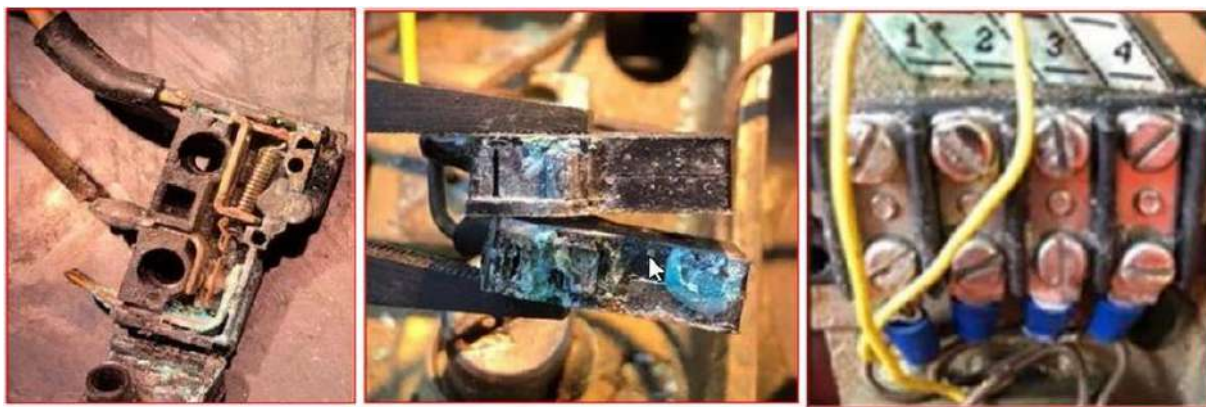
Além disso, para a limpeza do piso da sala de cilindros, era comum o uso de lava jatos, que contribuem para a formação de névoa úmida, intensificada pela umidade do ambiente e

característica de uma operação offshore. Vale destacar que esse tipo de limpeza não é habitual em outras plataformas para salas semelhantes, o que deveria ser considerado na elaboração do serviço. Consequentemente, todos os sistemas eletrônicos dos equipamentos de controle das baterias de cilindros ficaram expostos continuamente à umidade, o que acelerou a corrosão interna dos equipamentos e, como foi confirmado pelo laudo de inspeção, resultou em um curto-circuito no sistema.

Tanto a opção por se utilizar venezianas ao invés de paredes, quanto o uso de lava jato para limpeza da sala, mostraram-se um erro fundamental no bom funcionamento do sistema de combate a incêndio. Ademais, a sala, por não possuir ventilação forçada, não dispersava a névoa úmida que se acumulava no local, agravando ainda mais a longo prazo a corrosão dos equipamentos.

A Figura 28 retrata o estado do micro switch na caixa da cabeça de comando elétrico da válvula direcional. São nítidos os indícios de penetração de umidade, oxidação e o acúmulo de partículas nos equipamentos.

Figura 28 - Terminais elétricos e componentes internos da válvula direcional e *micro switch*



Fonte: ANP, 2023

Os peritos concluíram que o sinal elétrico momentâneo gerado pelo curto-circuito foi suficiente para iniciar disparo de dióxido de carbono no compartimento dos EMD's, e que não existiram outras formas de acionamento registradas. Assim, é possível que no momento do projeto da sala de cilindros não tenha sido prevista a possibilidade de acúmulo de umidade, o que levaria à corrosão. Além disso, os riscos associados à corrosão dos equipamentos, como o curto-circuito que acionaria o sistema de gás carbônico, também não foram considerados. Isso pode ser observado pelo fato de que os equipamentos eletrônicos não possuíam grau de proteção IP contra umidade e jatos d'água, conforme recomendado pela norma NBR IEC 60529 (2017).

Cabe ressaltar, ainda, que houve o rompimento do mangote de um dos cilindros contendo CO₂ no momento do acidente. Entretanto, a sala não estava habitada no momento. Restou constatado que houve diversos pedidos, registrados ao longo dos 2 anos antes do ocorrido, para a troca dos mangotes que já estavam desgastados, evidenciando a ineficiência da gestão da plataforma acerca da situação.

- Lógica de Acionamento do sistema de Incêndio

Outro ponto a ser categorizado como falha do projeto da sala de cilindros de CO₂ está na sua adequação quanto a norma NFPA 12 (2018). A norma prevê que em locais atendidos pelo sistema de CO₂ onde há a possibilidade da presença de pessoas haja uma segunda verificação, permitindo o acionamento e a liberação do gás.

Diante das exigências feitas pela norma, a plataforma P-19 criou uma Gestão de Mudança em 2019 para atualização do sistema. A alteração implantaria a lógica “double check” para o acionamento do gás carbônico, concluída em 2019 e aprovada em 2020. Importante ressaltar que a atualização foi submetida a testes pela mesma empresa que realizou a mudança e foi constatado o total funcionamento do sistema de acionamento. De modo geral, para que haja a abertura da válvula direcional do sistema de combate a incêndio, seria necessário confirmação de fumaça ou incêndio local por meio de (no mínimo) dois detectores presentes na sala e/ou por acionamento manual da botoeira local por um trabalhador.

Uma vez aberta a válvula direcional, a *micro switch* é energizada, indicando a posição de abertura e enviando um sinal para o painel do operador. Na sala de controle, o operador responsável deve realizar o reconhecimento da existência ou não do foco de incêndio sinalizado. Somente após a sua confirmação, a botoeira virtual seria acionada, a válvula da cabeça do cilindro aberta e o CO₂ liberado para a sala.

Embora a plataforma P-19 tenha implementado uma Gestão de Mudança para incorporar a lógica de “double check” no acionamento do dióxido de carbono, a implementação não foi realizada corretamente. Como resultado, a verificação dupla não entrou em vigor da maneira adequada, o que levou ao acionamento espúrio do sistema, liberando o gás carbônico sem a confirmação necessária por parte do operador na sala de controle.

Importante ressaltar que, na madrugada do dia seguinte do acidente, 03 de agosto, o compartimento da desaeradora da unidade apresentou um novo acionamento do sistema de incêndio. A ativação do alarme geral da plataforma, junto com a sinalização espúria da válvula responsável pela liberação de CO₂ para a inundação da sala, foram mais uma vez acionados,

mas sem a descarga efetiva do gás devido a utilização de toda bateria principal de cilindros no dia anterior.

5.3.2 Falha na Inspeção e Teste

Outro ponto fundamental negligenciado pela plataforma encontra-se nas inspeções e testes realizados nos equipamentos que compõem o sistema. Sob as condições apresentadas e sujeito à umidade durante todo o tempo de vida útil da planta, os equipamentos apresentavam sinais de corrosão interna de seus componentes. A não identificação durante os procedimentos de inspeções contribuiu para o curto-circuito nos equipamentos elétricos e consequentemente para os eventos seguintes que resultaram no acidente.

Primeiramente, a Operadora da instalação confirmou que, para os componentes do sistema de combate a incêndio por gás carbônico, não havia uma frequência estabelecida para a troca dos solenoides presentes no micro switch das válvulas direcionais. As válvulas eram trocadas somente por falha do componente após acionamento ou tentativa de acionamento, e não por identificação de defeito após inspeção, estando em total desconformidade com regulamento técnico do Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional das Instalações Marítimas de Perfuração e Produção de Petróleo e Gás Natural, SGSO.

O regulamento rege em sua prática de gestão nº 13, subtópico 13.2.1 que o operador da instalação terá como atribuição estabelecer planos e procedimentos para inspeção, teste e manutenção a fim de buscar a integridade mecânica dos seus sistemas, estruturas, equipamentos e sistemas críticos de segurança operacional. Tal documentação deverá estar alinhada com recomendações dos fabricantes, normas, padrões e boas práticas de engenharia (SGSO, 2007). Além disso, a NBR 12232 (2015) especifica que para sistemas fixos automáticos de gás carbônico, as inspeções e ensaios periódicos devem ser realizados atendendo os seguintes requisitos:

1. Todos os sistemas devem ser inspecionados visualmente, pelo menos a cada três meses.
2. Devem ser verificadas as condições de funcionamento de todas as partes móveis, principalmente as lubrificadas, bem como todos os componentes eletrônicos, como detectores, acionadores manuais, válvulas solenoides, pressostatos etc.
3. Todos os sistemas devem ser submetidos a ensaios de operação, pelo menos anualmente.

4. Inspeções, ensaios, manutenção e operação devem ser registradas em relatórios e efetuados somente por pessoas habilitadas

Inicialmente, foi constatado que as inspeções dos equipamentos não eram realizadas por profissionais com qualificação técnica, como técnicos de instrumentação. Apesar de a gestão ter sido orientada pela Marinha do Brasil, em 2020, que inspeção do sistema deveria ser realizada por empresa especializada e credenciada, a função era executada por técnicos de segurança da própria plataforma.

A verificação ainda deveria ser executada com base em uma Lista de Tarefas de Manutenção (LTM) para manter uma avaliação criteriosa e individualizada para cada equipamento. Contudo, esta foi substituída por uma Lista de Verificação (LV), que se baseia somente na inspeção visual da integridade das mangueiras dos cilindros e testes de acionamento local das válvulas, com inibição da liberação do CO₂.

A Figura 29 retrata uma das LV utilizadas para a avaliação trimestral da bateria de cilindros da instalação. É possível observar que nenhuma verificação de componentes eletrônicos, como o caso da válvula solenoide, consta no documento em questão. As tarefas atribuídas se destinavam especificamente para uma verificação visual das cabeças de atuação, mas sem qualquer preocupação em se inspecionar os demais componentes internos e que poderiam apresentar indícios de corrosão.

Figura 29 - Lista de verificação trimestral de banco de baterias da Instalação

<p>31.10.2020 02:11:10</p> <p>OPER BANCO DE BATERIAS DE CO2 TRIMESTRAL</p> <p>301019.FSCI.542501.000001.0001-Cilindros CO2 CN-542501A</p> <p>TAREFAS:</p> <p>01-() VERIFICAR O ASPECTO VISUAL DOS CILINDROS DE CO2.</p> <p>02-() VERIFICAR A INTEGRIDADE DOS MANGOTES E DAS CABEÇAS DE ATUAÇÃO.</p> <p>03-() INSPEÇÃO VISUAL DE TODAS AS TUBULAÇÕES DO SISTEMA FIXO DE CO2. QUALQUER ANORMALIDADE (CORROSÃO, FUROS, ETC) DEVERÁ SER ABERTA NOTA DE MANUTENÇÃO PARA TRATAMENTO.</p> <p>OBS.: ANORMALIDADES ENCONTRADAS DEVEM SER EVIDENCIADAS ATRAVÉS DE ABERTURA DE NOTA.</p> <p>23.11.2020 13:59:27</p> <p>OPER BANCO DE BATERIAS DE CO2 TRIMESTRAL</p> <p>301019.FSCI.542501.000001.0001-Cilindros CO2 CN-542501A</p> <p>TAREFAS:</p> <p>01-(E) VERIFICAR O ASPECTO VISUAL DOS CILINDROS DE CO2.</p> <p>02-(E) VERIFICAR A INTEGRIDADE DOS MANGOTES E DAS CABEÇAS DE ATUAÇÃO.</p> <p>03-(E) INSPEÇÃO VISUAL DE TODAS AS TUBULAÇÕES DO SISTEMA FIXO DE CO2. QUALQUER ANORMALIDADE (CORROSÃO, FUROS, ETC) DEVERÁ SER ABERTA NOTA DE MANUTENÇÃO PARA A TRATAMENTO.</p> <p>OBS.: ANORMALIDADES ENCONTRADAS DEVEM SER EVIDENCIADAS ATRAVÉS DE ABERTURA DE NOTA.</p> <p>SEM ANORMALIDADES, EXECUTANTE:</p>

Fonte: ANP, 2023

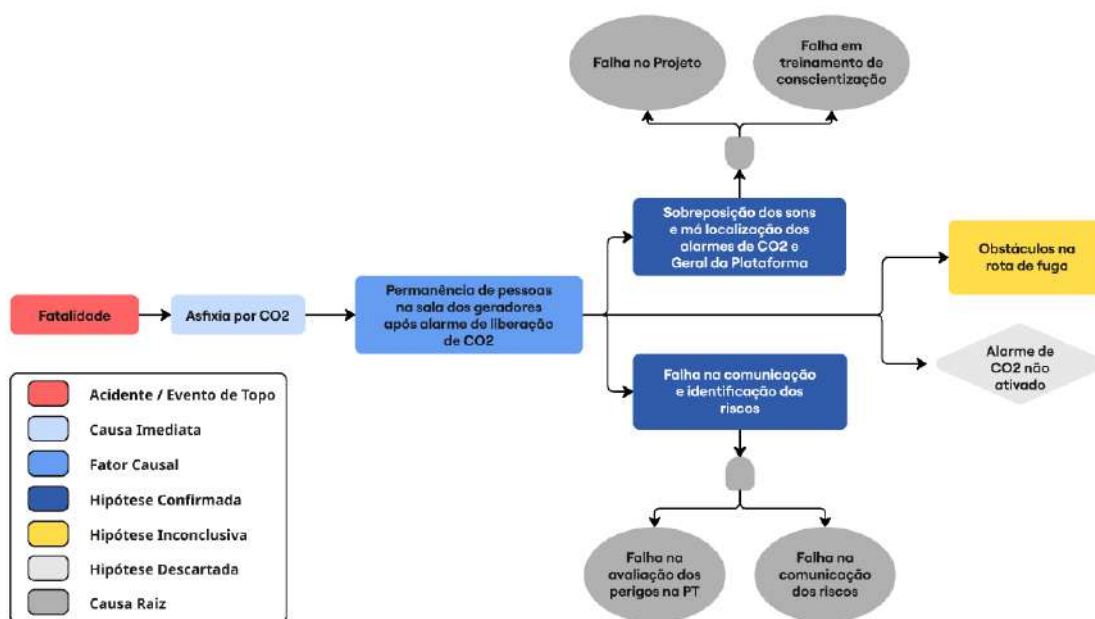
Outra falha identificada, encontra-se nos registros feitos junto a Operadora para a troca de alguns mangotes dos cilindros de CO₂. A necessidade de manutenção para esses casos foi registrada em 2017 e permaneceram sem a tomada das devidas providências durante todo o período até o dia do acidente. O rompimento de um dos mangotes da bateria de cilindros não apresenta relação direta com o acidente, mas evidencia a negligência dos gestores em prover recursos para as manutenções necessárias.

Tendo em vista esses pontos, torna-se evidente a falha da Operadora da Instalação junto às exigências feitas pela NBR 12232 (2015). Caso a avaliação dos componentes elétricos das válvulas tivesse sido realizada, seria possível identificar sua corrosão e, consequentemente, realizar a devida manutenção. Além disso, ensaios de operação anuais identificaram a necessidade da troca dos mangotes dos cilindros que se encontravam desgastados há anos, mas a Operadora não priorizou os recursos para as devidas substituições.

No entanto, para esta causa em questão, faz-se necessário avaliar o acidente considerando as responsabilidades atribuídas aos funcionários da plataforma, que não possuíam o conhecimento detalhado obtido pelos investigadores ao gerarem o relatório da ANP. Isso levanta a reflexão de que, com as informações apresentadas aos responsáveis pelas verificações

do sistema de combate a incêndio, a Lista de Verificação (LV) poderia ser considerada suficiente. Assim, ao tomar conhecimento do resultado do acidente, os analisadores podem acreditar que ele era previsível antes mesmo de acontecer, caracterizando o fenômeno conhecido como *hindsight bias*, em tradução livre “viés retrospectivo” (DEKKER, 2014). Retornando para a árvore de falhas, o segundo fator causal refere-se na permanência dos operadores na sala dos motogeradores após o acionamento do alarme de liberação do dióxido de carbono, ocasionando o óbito de um dos funcionários.

Figura 30 - Corte árvore de falhas do acidente - 2º Fator Causal



Fonte: Adaptado ANP, 2023

Das quatro hipóteses levantadas, duas foram confirmadas e as demais foram descartadas ou classificadas como inconclusivas. Dentre as hipóteses, tem-se:

- Falha na comunicação e identificação dos riscos - **Confirmada**
- Obstáculos na rota de fuga - **Inconclusiva**
- Alarme de CO₂ não ativado - **Descartada**
- Sobreposição dos sons e má localização dos alarmes de CO₂ e Geral da Plataforma. - **Confirmada**

Para o caso da resposta inconclusiva, a rota de fuga a ser utilizada durante a evacuação da sala possui um desnível entre duas áreas da sala, que poderia provocar a queda de uma pessoa, dificultando ou até impedindo sua fuga. Contudo, como a vítima foi encontrada próxima ao obstáculo, não é possível afirmar se o desnível influenciou a fuga do operador.

Para as hipóteses confirmadas, estas estão relacionadas a uma má comunicação e identificação dos riscos presentes na sala dos motogeradores, assim como a sobreposição sonora dos alarmes durante o procedimento de identificação de incêndio. Os tópicos a seguir analisam cada uma das possíveis causas raízes para essas hipóteses.

5.3.3 Falha na avaliação dos perigos na PT

A primeira falha que podemos destacar reside em uma avaliação equivocada dos riscos atrelados aos serviços de limpeza realizados nos ambientes, mais especificamente na Permissão de Trabalho dos operadores envolvidos na tarefa.

De acordo com a NR-35 (2023), a Permissão de Trabalho (PT) é um documento escrito contendo conjunto de medidas de controle, visando ao desenvolvimento de trabalho seguro, além de medidas de emergência e resgate. Sua emissão permite a realização de tarefas potencialmente perigosas, obrigatórias em atividades de risco, como trabalhos em altura, espaços confinados e soldagem. Com este documento, a empresa se certifica que apenas trabalhadores essenciais no desempenho da atividade adentrem em áreas de risco, fortalecendo a segurança no trabalho.

Além disso, a prática de trabalho segura é fundamentada com o uso de tal documentação para garantir a segurança dos trabalhadores e a integridade do meio ambiente, como mostra o SGSO (2007). Em sua prática de gestão número 17, é estabelecido que o Operador da Instalação deverá estabelecer um sistema de permissão de trabalho e outros meios de controle para gerenciar atividades em áreas de risco. Na elaboração deste sistema, deverá ser considerada a necessidade da análise prévia das condições de segurança para execução de tarefas, bem como dos perigos existentes no ambiente de trabalho.

Para o caso da Petrobras, dois tipos de Permissão de Trabalho são verificados: a PT e a PTRE. A primeira diz respeito a uma autorização para a execução de trabalhos perfeitamente definidos e delimitados nas áreas operacionais como manutenção, montagem, desmontagem, construção, inspeção e reparo de equipamentos, sistemas ou estruturas. Já a PTRE é definida como Permissão para Trabalho Rotineiro Específico, utilizada para trabalhos rotineiros em equipamentos, sistemas ou estruturas cujo risco já se encontra previamente estabelecido e não se altera ao longo do tempo, como é o caso para atividades de limpeza ao longo de toda a plataforma

No contexto da plataforma P-19, foram emitidas uma PTRE e uma PT para a limpeza na sala dos EMDs, além de uma PTRE para a sala dos cilindros de CO₂. A limpeza da sala dos EMD's tinha como objetivo principal retirar o óleo presente no piso, oriundo dos vazamentos

esporádicos dos motogeradores, o que caracteriza a emissão da PTRE. Contudo, como o piso principal é revestido por uma camada gradeada, a tarefa para a retirada desse revestimento exige a emissão de uma PT, uma vez que se trata da execução de um trabalho de desmontagem realizado de forma não periódica no local. Em contrapartida, como a sala que abriga os cilindros de gás não possui tais características, apenas a permissão de trabalho rotineira é necessária.

Figura 31 - PTRE da tarefa na sala da bateria de cilindros de CO₂

BR PETROBRAS PERMISSÃO DE TRABALHO ROTINEIRO ESPECÍFICO
TRABALHO A FRIO

NÚMERO 006516 / 2022
DATA 02/08/2022

RECOMENDAÇÕES ADICIONAIS DA OPERAÇÃO

Permanência do operador no local de trabalho? () Sim (X) Não
Verificação periódica? (X) Sim () Não Caso sim, verificar de ____ em ____ Horas

RECOMENDAÇÕES ADICIONAIS DE SEGURANÇA

- Posicionamento seguro
- NÃO jogar água nas válvulas de comando

OBSERVAÇÕES

Atenção para não danificar as redes de plugue fusível.

PROCEDIMENTO ESPECÍFICO

CIÊNCIA DOS EXECUTANTES DO TRABALHO

Nome	Matrícula	Assinatura	Nome	Matrícula	Assinatura
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]			

Fonte: ANP, 2023

Interessante notar que, para a PTRE das salas dos cilindros de CO₂ (Figura 31), a tarefa é descrita com o uso de lava-jato, com a aplicação de água quente através das pistolas. Além disso, nas recomendações adicionais, consta para os operadores responsáveis pelos serviços que não joguem água nas válvulas de comando.


Entretanto, conforme já abordado em tópicos anteriores, mesmo sem a aplicação direta de água sobre as válvulas, a formação de umidade causada pelas pistolas, somada à umidade natural do ambiente, tornou-se inevitável. Essa condição resultou em um curto-circuito e na consequente falha do sistema, visto que os equipamentos instalados não possuíam grau de proteção IP adequado para operar em ambientes com tais características. Em relação a PTRE de limpeza da sala dos motogeradores e a PT para a retirada dos pisos gradeados, importante ressaltar que a Operadora não entendia como necessária a elaboração de uma análise de risco no local, visto que as atividades eram consideradas de baixo risco.

A análise só ocorreria caso fosse afirmativa uma das verificações da lista de perigos APN-1 (Análise de Perigo Nível 1), cujo procedimento é exigido para as Permissões de Trabalho ordinárias (PT). Entretanto, a realização da APN-1, obrigatória para esse caso, foi

negligenciada, demonstrando a falta de avaliação dos perigos envolvidos pelos gestores da plataforma, responsáveis pelo planejamento das PT's. A Figura 32 representa um exemplo de APN-1 utilizada na plataforma para a emissão da PT.

Figura 32 - Análise preliminar de perigos nível 1 (APN-1) na data do acidente

PE-1PBR-00210 - ANEXO A - APN-1

 ANÁLISE DE PERIGO NÍVEL 1 (APN-1)		Data	
Instalação		Área emitente	
Equipamento		Localização	
Trabalho a executar			
QUESTÃO			SIM NÃO
1. A execução deste trabalho implica em alteração nas condições operacionais, de forma não prevista em análise de risco e procedimento pré-estabelecido, que possa acarretar parada de sistemas de segurança ou provocar emergência?			
2. Durante a execução deste trabalho pode haver contato com temperatura extrema em equipamentos ou sistemas sem proteção térmica?			
3. Durante a execução deste trabalho haverá intervenção em circuito de controle ou de proteção de painéis elétricos essenciais?			
4. Durante a execução deste trabalho haverá intervenção em circuito pertencente a sistema de no-break ou de corrente contínua crítico que causará a indisponibilidade do sistema?			
5. A execução deste trabalho pode interferir na segurança operacional de outras áreas de operação?			
6. Este trabalho será executado no interior de espaços confinados?			
7. Este trabalho será executado em altura acima de 2m e com risco de queda, conforme NR-35, de forma não prevista em análise de risco e procedimento de trabalho rotineiro pré-estabelecido? NOTA: Trabalhos rotineiros cujos cuidados já estejam cobertos por PTRE ou TRBR específica, não necessitam APN2 adicional. Nesse caso a resposta para esse item é "NÃO".			
8. Este trabalho será executado sobre o mar?			
9. Este trabalho será executado em local com risco de presença de H ₂ S, de forma não prevista em análise de risco e procedimento de trabalho rotineiro pré-estabelecido? NOTA: Trabalhos rotineiros cujos cuidados já estejam cobertos por PTRE ou TRBR específica, não necessitam APN2 adicional. Nesse caso a resposta para esse item é "NÃO".			
10. O trabalho envolverá chama aberta (solda, corte, esmerilhamento) em área classificada ou em equipamento classe A ou em equipamento classe B interligado a equipamento classe A?			
11. Os equipamentos/ferramentas utilizados na execução deste trabalho e/ou a realização do mesmo oferecem riscos de gerar centelhas, faíscas ou eletricidade estática quando forem utilizados em área classificada, de forma não prevista em análise de risco e procedimento de trabalho rotineiro pré-estabelecido? NOTA: Trabalhos rotineiros cujos cuidados já estejam cobertos por PTRE ou TRBR específica, não necessitam APN2 adicional. Nesse caso a resposta para esse item é "NÃO".			
12. Este trabalho envolve o uso de fonte de radiação ionizante?			
13. O trabalho envolverá a abertura de equipamento ou linha, ou será realizado em equipamentos e sistemas pressurizados, de forma que sejam necessárias medidas de segurança adicionais à Matriz de Risco e Plano de Isolamento do PE-1PBR-00212? • Exemplos de trabalhos com riscos não totalmente cobertos pelos documentos do PE-1PBR-00212: - abertura de equipamento com possibilidade de pressão trapeada; - abertura de equipamento com sulfeto de ferro e possibilidade de combustão espontânea. NOTA: Trabalhos cujos cuidados sejam cobertos pelos documentos do PE-1PBR-00212, não necessitam APN2 adicional. Nesse caso a resposta para esse item é "NÃO".			
14. O trabalho será realizado em equipamento ou sistema elétrico, com possibilidade de choque elétrico ou formação de arco elétrico, de forma que sejam necessárias medidas de segurança adicionais à Matriz de Risco, Plano de Isolamento ou Matriz de Trabalho Energizado do PE-1PBR-00213? NOTA: Trabalhos cujos cuidados sejam cobertos pelos documentos do PE-1PBR-00213, não necessitam APN2 adicional. Nesse caso a resposta para esse item é "NÃO".			
15. O trabalho envolve operações de mergulho?			
16. O trabalho é de hidrograteamento?			
17. Durante a execução do trabalho pode haver aproximação do executante com partes móveis expostas de máquinas ou equipamentos?			
INSTRUÇÕES DE PREENCHIMENTO			
1. A APN-1 deve ser respondida integralmente.			
2. Uma resposta "SIM" para qualquer uma das perguntas acima indica a obrigatoriedade de realização da APN-2.			
RESPONSÁVEL PELA ANÁLISE (ÁREA EMITENTE)			
Nome:		Matrícula:	

Fonte: ANP, 2023

Ao analisar a Figura 32, é possível notar que não há perguntas relacionadas ao trabalho em salas que estão protegidas por sistema de combate a incêndio por CO₂ ou menções a serviços em áreas de risco para gases asfixiantes. Contudo, a pergunta de número 6 questiona a respeito do trabalho em espaço confinado. De acordo com a NR-33 (2022), espaço confinado é definido como um ambiente com características que o tornam potencialmente perigoso para a saúde e segurança dos trabalhadores, como ter meios limitados de entrada e saída, não ser projetado para ocupação humana contínua e/ou possuir uma atmosfera perigosa.

Portanto, para o caso da sala dos EMD's, a resposta seria afirmativa e, por consequência, a análise de riscos deveria ser realizada conforme o protocolo. A conclusão para a falta dessa

análise se deu pela normalização das limpezas feitas na sala, necessitando constantemente da retirada dos pisos gradeados, visto o óleo vazado dos motogeradores.

A recorrente negligência de procedimentos que exigem o cumprimento rigoroso de protocolos, como ocorreu na ausência de análise de risco para o serviço de limpeza da sala dos EMDs, está diretamente associada ao conceito de normalização do desvio na indústria. Compreender esse fenômeno é fundamental para entender como as falhas no processo passam a ser gradualmente aceitas.

A normalização do desvio ocorre quando indivíduos, grupos ou organizações passam a tolerar padrões inferiores de desempenho até que esses desvios se consolidem como parte da rotina. Assim, o afastamento de comportamentos ou diretrizes adequadas acaba sendo culturalmente incorporado como norma (OLIVEIRA, 2023).

Um ponto importante que deve ser tratado com seriedade é que os eventos adversos não decorrem apenas de erros ou falhas humanas, mas, sobretudo, da aceitação gradual de diversos desvios que passam despercebidos ao longo do tempo. Por isso, quando esses eventos ocorrem, é fundamental analisar os sistemas e as estruturas envolvidas, em vez de responsabilizar diretamente os indivíduos (OLIVEIRA, 2023). Por fim, constata-se que a repetição de práticas inseguras, como a execução rotineira da limpeza na sala dos EMD's sem a devida análise de riscos, contribuiu diretamente para o acidente, evidenciando uma falha na gestão da segurança operacional decorrente da normalização de desvios por parte da Petrobras.

Com isso, a PT foi emitida para o serviço na sala dos motogeradores, mesmo diante da ausência de análise de risco, possuindo apenas a lista de verificação exposta na Figura 33 e a análise ambiental na Figura 34.

Figura 33 - Questionário presente na PT da Operadora

QUESTIONÁRIO DE PT	
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/> N/A	Foram providenciados Tamponamentos de drenos, ralos, ventis e outras aberturas próximas ao local do trabalho?
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/> N/A	As manobras, bloqueios e isolamentos foram executados conforme o plano de isolamento?
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/> N/A	O equipamento está corretamente sinalizado com etiquetas de advertência?
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/> N/A	Existem recursos disponíveis para neutralizar/controlar vazamentos?
<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> N/A	O local foi isolado, sinalizado e o pessoal desnecessário afastado?
<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> N/A	A execução deste trabalho pode causar Risco de Perda de Produção?
<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> N/A	O trabalho a ser realizado é caracterizado como uma mudança?
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/> N/A	O equipamento foi drenado e/ou lavado e/ou limpo e/ou ventilado?
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/> N/A	Foram realizadas inspeções prévias nos equipamentos elétricos (luminárias, quadros, painéis, conexões, cabos, etc) e os cabos elétricos estão supensos?
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/> N/A	As mangueiras de ar comprimido possuem engates rápidos compatíveis e os mesmos estão travados
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/> N/A	Caso o equipamento esteja acoplado a equipamento elétrico (ex: motor elétrico), foram tomadas precauções quanto à energização acidental do equipamento?
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/> N/A	Caso necessário inibir sensores do sistema de detecção de fogo e gás, foram definidas salvaguardas para suprir a inibição?

Fonte: ANP, 2023.

Figura 34 - Análise ambiental presente na PT da Operadora

ANÁLISE AMBIENTAL	
Controlado presença líquido inflamável ou corrosivo?	() Sim () Não (/) N/A
Controlado presença sólido combustíveis?	() Sim () Não (/) N/A
Necessário verificação de presença de gás inflamável ou tóxico?	() Sim (/) Não
TAG:	
HC	CO
H2S	Outros

Fonte: ANP, 2023.

Nota-se que a terceira pergunta na Figura 34 é relativa à verificação de gases inflamáveis ou tóxicos no ambiente. Entretanto, não são abordados gases que podem se tornar asfixiantes em concentrações elevadas no local, como o caso do dióxido de carbono. Logo, a pergunta não foi elaborada considerando a possibilidade da injeção de CO₂ na sala, alterando as condições ambientes, visto que de fato é um gás não inflamável e não tóxico, mas é letal em altas concentrações.

Nesse sentido, fica evidente a falha da Operadora com as análises prévias dos riscos e das permissões de trabalho designadas para os serviços na sala dos EMD's. Ademais, apesar da negligência com os procedimentos padrões para emissão da PT, a elaboração dos documentos que precedem essas permissões mostra-se falha, não considerando todos os cenários possíveis e, conseqüentemente, estando em desacordo com a prática de gestão número 17 da SGSO de 2007.

5.3.4 Falha na comunicação dos Riscos

A sinalização adequada dos riscos, em ambientes com alto potencial para tal, é essencial para o alerta dos operadores a fim de assegurar a integridade tanto dos trabalhadores quanto dos equipamentos presentes. A norma regente para os sistemas de extinção por CO₂, a NFPA 12 (2022), indica que sinais de alerta devem ser fixados em:

- Local visível em todos os espaços protegidos; em todas as entradas de espaços protegidos;
- Espaços próximos aos espaços protegidos onde se determine que o dióxido de carbono possa migrar, criando um risco para o pessoal;
- Cada entrada de salas de armazenamento de dióxido de carbono e onde o gás possa migrar ou acumular-se no caso de uma descarga de um dispositivo de segurança de um recipiente de armazenamento.

A NFPA 12 (2022) ainda exige que, em ambientes protegidos por sistemas fixos de gases, sejam fixadas placas de sinalização de advertência nas portas de acesso, tanto interna quanto externamente, indicando o risco presente e especificando o nome do agente gasoso utilizado. As Figuras 35 e 36 ilustram a sinalização exigida pelas normas, por meio de placas de advertência, destinada à comunicação com os trabalhadores que eventualmente realizem atividades tanto no interior quanto no exterior da sala.

Figura 35 - Sinalização de advertência para interior dos ambientes protegidos



Fonte: NFPA, 2022.

Figura 36 - Sinalização de advertência externas dos ambientes protegidos



Fonte: NFPA, 2022.

Contudo, ao analisar as entradas das salas envolvidas no acidente, a sala dos cilindros de CO₂ e a sala dos motogeradores onde foi realizada a limpeza, torna-se evidente o descumprimento das normas regulamentares aplicáveis. A Figura 37 exemplifica a falha de comunicação em uma das salas diante da não sinalização adequada para ambientes protegidos por CO₂ com risco de morte por asfixia, conforme recomendado pela NFPA 12.

Figura 37 - Entrada da sala de motogeradores sem placa de sinalização



Fonte: ANP, 2023

Em depoimentos, alguns colaboradores afirmaram desconhecer o perigo de asfixia em ambientes equipados com sistemas de CO₂. A presença de sinalização adequada, interna e externa na sala dos motogeradores, teria possibilitado, mesmo na ausência de treinamento específico, a conscientização mínima sobre o risco existente e orientado os trabalhadores quanto às medidas a serem adotadas em caso de acionamento do alarme.

As investigações realizadas pela ANP sugerem que a simultaneidade das atividades de limpeza na sala dos cilindros e na sala dos motogeradores configurou-se como um potencial fator contribuinte para o acidente. Contudo, a associação direta desse fator às fatalidades pode ter sido influenciada pelo fenômeno do *hindsight bias*.

Embora o relatório investigativo tenha evidenciado o risco inerente à execução simultânea das atividades, não foi identificada nos registros documentais disponíveis a realização de uma análise de riscos que reconhecesse essa condição como crítica. Diante disso, é necessário ponderar sobre a efetiva relevância da análise considerando apenas as informações disponíveis antes do acidente.

5.3.5 Falha em treinamento e conscientização

Como mencionado anteriormente, o fato dos trabalhadores responsáveis por realizar a limpeza em um ambiente com risco de asfixia não terem o conhecimento dos perigos associados ao gás em questão, no caso o CO₂, evidencia outra falha importante no contexto do acidente:

treinamento e briefing insuficientes para as equipes da plataforma. De acordo com o SGSO, de 2007, é dever da Instalação:

- Estabelecer os requisitos de treinamento para que seus empregados estejam aptos a realizar as tarefas afetas ao cargo ocupado;
- Dimensionar o programa de treinamento de acordo com a classificação de funções e as tarefas pertinentes ao cargo;
- Garantir que as contratadas estabeleçam os requisitos de treinamento e dimensionem os respectivos programas conforme estabelecido nos itens anteriores;
- Estabelecer a qualificação e o treinamento necessários à realização das atividades previstas nos procedimentos operacionais.

Além disso, são considerados quatro tipos de treinamento para a força de trabalho dentro da plataforma: Treinamento de Conscientização, Treinamento Geral, Treinamento Especializado e os simulados de emergência. Entretanto, diante da falta de conhecimento demonstrado nas entrevistas coletadas durante a investigação, é nítido que a Operadora falhou quanto à identificação dos riscos presentes dentro da plataforma. O único alarme e procedimento que possibilitou uma correta resposta dos trabalhadores foi do alarme de emergência geral da plataforma, que se atribui possivelmente aos simulados práticos realizados rotineiramente. Os demais não parecem ter sido praticados ou fixados junto aos operadores.

5.3.6 Falha no Projeto

É possível observar mais uma falha no projeto da plataforma P-19. Contudo, diferentemente da primeira, cujo erro se encontra na estruturação e lógica do sistema presente na sala dos cilindros de CO₂, esta relaciona-se com a sobreposição sonora, localização e visualização dos alarmes presentes na sala onde ocorreu o acidente. Na Figura 38 é possível observar parcialmente o sistema de alarme e emergência da sala dos EMD's.

Figura 38 - Equipamentos dos alarmes de CO₂ (vermelhos) e de emergência na sala dos motogeradores diesel auxiliares da P-19



Fonte: ANP, 2023

Primeiramente, foi identificado pela lógica do sistema de alarmes que houve o acionamento simultâneo tanto do alarme geral da plataforma quanto do alarme do sistema de gás carbônico durante os procedimentos de limpeza na sala dos motogeradores. Este acontecimento pode ter provocado uma indecisão e confusão por parte dos operadores presentes. Os simulados de emergência realizados instruíam os funcionários a aguardar as orientações da “boca de ferro” até que fossem estabelecidas e comunicadas as rotas de fuga mais seguras do ambiente em um possível acionamento do alarme de emergência da plataforma.

Considerando o fato de que dois funcionários, dentre os quatro presentes na sala dos EMD's no momento do acidente, conseguiram com êxito deixar o local a tempo, é provável que os trabalhadores estivessem em pontos diferentes da sala. Ademais, é possível que a localização dos alarmes de CO₂ dificultou sua identificação por parte de alguns dos operadores. A sala, por possuir grandes equipamentos e maquinários, assim como diversas estruturas como vigas, dutos de ar e os próprios motogeradores, promove possíveis pontos cegos para a visualização dos alarmes.

Dessa forma, apenas dois dos funcionários teriam obtido êxito ao sair do local a tempo, enquanto os outros dois teriam desmaiado após exposição demasiada ao gás. Em alguns casos, a depender do posicionamento dentro da sala, a visão fica impossibilitada.

6 ANÁLISE DO ACIDENTE SOB A ÓTICA DO RBPS

A partir do conhecimento acerca do modelo de Segurança de Processos Baseado em Risco e com um melhor entendimento sobre o acidente da plataforma P-19, resta analisar quais

pilares e elementos estavam deficientes na gerência da unidade, indicando os fatores causais relativos a eles. Cabe ressaltar que, por meio da investigação detalhada dos fatores causais do ocorrido, mais de um elemento pôde ser associado a fatores específicos. Dessa forma, torna-se evidente que muitos dos pilares do RBPS estão interrelacionados, proporcionando, ao serem associados, um sistema coeso e interligado.

6.1 CULTURA DE SEGURANÇA DE PROCESSO

Cultura de Segurança de Processo, sob a ótica do RBPS é definida como o conjunto de valores, crenças e comportamentos compartilhados que priorizam a segurança sobre demandas concorrentes, representa a fundação sobre a qual um sistema de gerenciamento de segurança eficaz é construído (CCPS, 2008). No contexto da plataforma P-19, é possível afirmar que todas as falhas apontadas ao longo da análise convergem para um problema estrutural mais amplo: uma cultura de segurança deficiente. A negligência com procedimentos normativos, a ausência de senso crítico para revisar alterações técnicas e validar implementações por meio de testes adequados, a normalização de situações críticas como parte da rotina operacional e a falta de urgência na identificação e sinalização de perigos evidenciam a forma como a segurança era percebida e praticada.

A adoção de PTRE para atividades realizadas em uma área de alto risco, como a sala dos motogeradores, protegida por um sistema fixo de CO₂, demonstra uma falha no entendimento frente a gestão de riscos. Utilizar-se de uma permissão simplificada, que não possuía uma análise de riscos mais detalhada, revela uma possível cultura organizacional que tende a normalizar a rotina operacional, como exposto pela própria ANP, mesmo diante de cenários potencialmente letais. Em uma cultura de segurança robusta, a frequência da tarefa não substituiria a avaliação crítica dos perigos presentes. O fato de uma liberação acidental de CO₂ representar risco imediato de asfixia deveria ser suficiente para motivar um tratamento mais rigoroso.

As falhas no Gerenciamento de Mudança são outro exemplo de como a implementação incorreta da lógica de “double check” sem revisões técnicas rigorosas e testes funcionais completos reforçam uma cultura que possivelmente não incorpora a disciplina exigida por mudanças em sistemas de segurança. Além disso, a comunicação falha sobre os riscos envolvidos, visto que a ausência de sinalização adequada na entrada da sala e a falta de informações específicas nas PTs sobre o risco de névoa de água ou sobre a natureza do CO₂, evidencia uma lacuna grave. Uma cultura de segurança eficaz pressupõe que todos os trabalhadores recebam informações claras e completas sobre os perigos aos quais estão

expostos. A não disseminação desses dados reforça a ideia de que a segurança não era um valor central permeando a comunicação e os procedimentos da organização.

6.2 CONFORMIDADE COM PADRÕES E NORMAS

O elemento Conformidade com Padrões e Normas diz respeito ao cumprimento da legislação aplicável ao sistema em análise. Esse princípio enfatiza a importância de identificar, compreender e seguir normas técnicas, códigos, regulamentos e leis relacionados à segurança de processo, além das políticas e especificações internas da organização (CCPS, 2008). No caso do acidente ocorrido na plataforma P-19, dois fatores principais evidenciam a negligência em relação a esse elemento: as deficiências no projeto do sistema fixo de combate a incêndio por dióxido de carbono (CO₂) e as falhas tanto nas inspeções periódicas quanto na seleção de equipamentos adequados para sua operação segura.

Em primeira análise, a sala dos EMDs não possui sinalização adequada que indique a proteção por um sistema de combate a incêndio por gás carbônico. Conforme a NFPA 12 (2022), é obrigatória a instalação de sinalizações, como placas e avisos, na entrada de ambientes protegidos por sistemas que utilizam o CO₂ como agente extintor, a fim de se alertar qualquer pessoa que venha a adentrar o local sobre os riscos associados. Além disso, o sistema de descarga de gás nas salas não contava com uma válvula de bloqueio manual (*lockout*), que possibilitaria o isolamento da tubulação durante a realização de atividades de manutenção, conforme exigido pela norma aplicável.

Em segunda análise, as inspeções para o sistema fixo de gás carbônico não estavam sendo realizadas conforme consta na NBR 12232 (2015). Esta dita que “devem ser verificadas as condições de funcionamento de todas as partes móveis, principalmente as lubrificadas, bem como todos os componentes eletrônicos, como detectores, acionadores manuais, válvulas solenoides, pressostatos, etc.”. De acordo com o relatório investigativo da ANP (2023), as *micro switch* das válvulas direcionais apresentavam sinais fortes de corrosão, necessitando de substituição. Por meio das inspeções de rotina realizadas pelos profissionais da plataforma, não havia sido relatado problema com a parte elétrica das válvulas, sinalizando que as inspeções não foram realizadas com o nível de detalhadamente exigido.

Apesar da negligência na realização das inspeções, a ausência de grau de proteção IP nos equipamentos eletrônicos associados ao sistema de CO₂ representa outra falha relacionada ao elemento de conformidade com normas e padrões. A norma NBR IEC 60529 (2017) exige a utilização de dispositivos com proteção adequada contra umidade e jatos d’água em ambientes com essas condições. A não observância desse requisito pode ter contribuído para a corrosão

dos componentes elétricos, resultando em um curto-circuito que levou ao acionamento não intencional do sistema de extinção de incêndio.

6.3 COMPETÊNCIA EM SEGURANÇA DE PROCESSO

A competência em Segurança de Processos na plataforma P-19 apresenta deficiências significativas em diversos pontos. Esse elemento, de acordo com o CCPS (2008), tem como objetivo assegurar que todos os envolvidos em atividades com riscos de processo possuam o conhecimento, as habilidades e a capacitação adequadas para agir de forma segura. No entanto, falhas como a implementação incorreta da lógica de "double check", deficiências no programa de inspeções, na emissão das Permissões de Trabalho e nos treinamentos evidenciam que esse requisito não foi alcançado.

O principal fator que evidencia a falha no elemento foi a execução inadequada da atualização do sistema com a nova lógica de *double check*. A equipe encarregada pela modificação do código de automação não possuía o nível de competência técnica necessário, resultando em uma lógica mal implementada, que comprometeu a função pretendida de segurança adicional.

Além disso, não foram conduzidos testes funcionais completos e independentes capazes de identificar a falha antes da entrada em operação. Embora a operadora tenha alegado que os testes foram realizados pela mesma responsável que implementou os códigos, a ANP destaca que, para atender às melhores práticas, esses testes deveriam ter sido conduzidos por uma equipe multidisciplinar externa à plataforma, o que levanta dúvidas sobre a efetividade e a independência do processo de verificação.

As deficiências nas inspeções do sistema de CO₂ também revelam falhas significativas de competência técnica. As atividades eram limitadas a verificações visuais, inadequadas para detectar falhas internas, como corrosão ou defeitos latentes nas válvulas. Além disso, essas inspeções eram realizadas por profissionais que não possuíam a qualificação ideal para a tarefa, no caso técnicos de segurança da própria plataforma, quando o mais adequado seria a atuação de técnicos de instrumentação. Isso evidencia a ausência de capacitação adequada dos executores, mas também os próprios procedimentos de inspeção apresentavam listas de verificação genéricas e mal definidas, incapazes de assegurar a integridade de um sistema crítico como o de dióxido de carbono.

A Operadora ainda falhou ao emitir Permissões de Trabalho sem realizar uma análise de risco adequada, desconsiderando o perigo específico da liberação de CO₂. A competência

para identificar os riscos do ambiente e aplicar corretamente os procedimentos de PT era essencial para a segurança, e essa falha evidenciou uma deficiência crítica nesse aspecto.

6.4 GESTÃO DO CONHECIMENTO DE PROCESSOS

O elemento Gestão do Conhecimento de Processos refere-se à sistemática coleta, organização, atualização e disseminação de informações críticas sobre os processos industriais, incluindo detalhes operacionais, riscos, perigos e medidas de controle associadas. Mais do que disponibilizar dados, esse elemento enfatiza a necessidade de garantir que tais informações sejam compreendidas corretamente pelos operadores e demais profissionais envolvidos, possibilitando uma tomada de decisão informada e segura em todas as etapas do ciclo operacional. Logo, ao conhecer profundamente o processo, é possível identificar todos os riscos e perigos associados à sua operação, o que possibilita a tomada de decisões mais seguras e eficazes para a prevenção de incidentes e a mitigação de eventuais impactos (CCPS, 2008).

Nesse sentido, a falha na comunicação visual nas salas protegidas pelo sistema de CO₂, aliada à falta de conhecimento dos operadores sobre os riscos inerentes ao uso desse agente extintor, evidencia uma deficiência no elemento Gestão de Conhecimento de Processos. A ausência de sinalização adequada nas salas dos EMDs e o relato dos próprios operadores, que desconheciam o potencial asfixiante do gás, reforçam essa lacuna. É fundamental que os operadores tenham acesso a informações claras e completas sobre os riscos envolvidos, bem como que compreendam plenamente esses perigos antes de realizarem atividades em ambientes protegidos por sistemas de CO₂, garantindo assim a segurança durante a operação.

Adicionalmente, a elaboração dos Procedimentos de Trabalho (PTs) também demonstrou falhas nesse elemento. Em nenhum momento os documentos consideraram a possibilidade de liberação de CO₂ no ambiente nem os riscos associados à asfixia. A ausência de uma análise de riscos apropriada por parte da operadora da plataforma indica um desconhecimento relevante sobre os perigos envolvidos, comprometendo a segurança operacional.

Ao se analisar o projeto do sistema como um todo, observa-se uma gestão deficiente do conhecimento técnico. A desconsideração da elevada umidade de ambientes *offshore*, evidenciada pela escolha de equipamentos sem grau de proteção IP, o uso de venezianas na sala de cilindros de CO₂, a ausência de sinalização adequada e a inexistência de válvula de bloqueio manual (*lockout*) são exemplos de decisões mal fundamentadas. Tais escolhas demonstram que os riscos operacionais não foram devidamente compreendidos nem considerados durante o projeto.

Por fim, a alteração na lógica de funcionamento do sistema de combate a incêndio, com a introdução do mecanismo de *double check*, expõe outra falha relevante. A implementação dessa nova lógica exigiria um conhecimento detalhado do funcionamento do sistema e das suas interfaces. Contudo, conforme apontado no relatório da ANP (2023), a lógica foi implantada de forma incorreta, o que evidencia a ausência de uma avaliação técnica abrangente e de uma integração eficaz entre as equipes envolvidas. Essa situação evidencia uma gestão deficiente do conhecimento do sistema por parte dos responsáveis pela nova lógica, além de indicar falhas em sua competência para executá-la adequadamente, assim como foi exposto no tópico anterior.

6.5 IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS E ANÁLISE DE RISCOS (HIRA)

O elemento Identificação de Perigos e Análise de Riscos tem como objetivo aplicar a metodologia de análises de riscos para prevenir acidentes e incidentes. Ele visa garantir que todos os perigos sejam identificados, os riscos sejam avaliados e medidas de controle adequadas sejam implementadas.

Segundo relatório da ANP (2023): “a Análise Preliminar de Riscos (APR) da instalação não possui cenário específico para casos de asfixia por CO₂ de área inundada por CO₂”. A operadora justificou a omissão alegando que não fazia sentido avaliar os riscos de um sistema cuja função seria justamente proteger o ambiente, argumentação esta que demonstra uma compreensão limitada e inadequada da natureza dos riscos associados a agentes gasosos como o dióxido de carbono.

As consequências dessa negligência ficaram evidentes em diversos aspectos operacionais da plataforma. Dentre eles, a emissão das Permissões de Trabalho (PT) para a sala dos motogeradores, que não apresentavam análise de risco, a qual é um procedimento normativo para a emissão de PT's em trabalhos não rotineiros dentro da plataforma.

Caso a análise tivesse sido conduzida de forma adequada, o cenário de liberação espúria de CO₂ na presença de trabalhadores teria sido identificado como um perigo crítico. Essa avaliação permitiria mapear as possíveis causas do evento, como falhas no sistema ou acionamentos inadvertidos; as consequências potenciais, como asfixia e fatalidade; além de estimar a probabilidade de ocorrência, levando em consideração a condição do sistema frente à elevada umidade típica do ambiente *offshore*. Com isso, a ausência dessa HIRA impediu a identificação e implementação de controles essenciais, como o bloqueio físico pela válvula *lockout* do sistema de gás carbônico, além de avaliar os próprios riscos da alteração da lógica para implementação do double-check no sistema e a formação da névoa úmida na sala dos cilindros.

6.6 PRÁTICAS DE TRABALHO SEGURAS

O elemento Práticas de Trabalho Seguras refere-se ao controle dos riscos associados a atividades de manutenção e/ou tarefas não rotineiras. Esse tipo de atividade geralmente exige a emissão de permissões de trabalho, visto que essas permissões constituem a principal ferramenta para assegurar que tarefas potencialmente perigosas sejam executadas sob condições controladas e seguras.

Como evidenciado pelo relatório investigativo da ANP (2023), falhas a respeito da elaboração e emissão das PT's na sala dos motogeradores a diesel foram constatadas. Inicialmente, destaca-se a emissão inadequada de uma PTRE para uma atividade a ser executada na sala dos EMDs, espaço este confinado e protegido por um sistema fixo de CO₂. Conforme o procedimento previsto, a emissão de uma PT exige a aplicação da Análise de Perigo Nível 1 (APN-1).

Todavia, a exigência da análise foi negligenciada pela gestão da plataforma, evidenciando um descumprimento das práticas de trabalho seguras atreladas às permissões de trabalho. Dada a natureza crítica dos riscos presentes, seria fundamental a substituição da PTRE por uma PT, precedida de uma análise de risco adequada à complexidade do ambiente.

A ausência da válvula de *lockout* na entrada das salas protegidas pelo sistema, recurso essencial para permitir o isolamento do sistema de CO₂ durante as intervenções, se apresenta como uma outra falha quanto a esse elemento. De acordo com a ANP, em outras plataformas da mesma Operadora, é comum inativar o sistema de CO₂ durante a realização de serviços em áreas protegidas, utilizando, para isso, a válvula de *lockout*. No entanto, na P-19, essa medida de segurança não foi implementada, assim como a adoção de alternativas que pudessem garantir o isolamento do sistema, comprometendo diretamente a segurança dos trabalhadores e violando os princípios estabelecidos por esse elemento do RBPS.

6.7 INTEGRIDADE E CONFIABILIDADE DOS EQUIPAMENTOS

O elemento de integridade e confiabilidade dos equipamentos visa garantir que os equipamentos críticos para o processo sejam projetados, fabricados, instalados, operados e mantidos de forma adequada para prevenir falhas e garantir seu bom funcionamento durante todo o ciclo de vida. Um bom funcionamento do maquinário abre poucas margens para riscos indevidos ao ecossistema, sendo exigido que haja uma série de procedimentos e verificações nos equipamentos de modo a conservar a segurança do processo e dos trabalhadores envolvidos (CCPS, 2008).

Por meio do relatório investigativo da ANP (2023), torna-se evidente o descumprimento do elemento por falhas na gestão de segurança da plataforma. As atividades de inspeção restringiam-se, em sua maioria, a avaliações visuais superficiais, que não identificavam problemas críticos como corrosão e degradação interna dos componentes das válvulas e atuadores, dado a grande concentração de umidade presente na sala dos cilindros.

Além disso, outra falha significativa associada ao elemento diz respeito ao projeto da sala dos cilindros de CO₂. Para o ambiente foram consideradas venezianas ao invés de paredes, o que facilitou a entrada constante de umidade, especialmente considerando o contexto *offshore*, naturalmente exposto à atmosfera marítima agressiva. Agravado por práticas operacionais inadequadas, como a realização de limpezas com jatos d'água no interior da sala, o que não é recomendado para ambientes que abrigam componentes eletrônicos.

No entanto, o erro mais crítico está na escolha de equipamentos sem grau de proteção adequado contra umidade, como previsto na norma NBR IEC 60529 (2017). A falha ao escolher dispositivos que não atendiam a norma comprometeu a integridade e desencadeou um rápido processo de corrosão e, possivelmente, falhas como o acionamento espúrio do sistema.

Pode-se destacar, ainda, a condição dos mangotes dos cilindros desgastados que se romperam durante o acidente, ocasionando a inundação da sala dos cilindros do CO₂. Desde 2019, notas de manutenção vinham sendo registradas por equipes técnicas da plataforma solicitando a substituição dos mangotes devido ao seu estado inadequado. No entanto, não houve mobilização por parte da Operadora em fornecer recursos necessários para a substituição dos componentes, agravando o risco de falhas operacionais, contribuindo diretamente para a ocorrência do acidente.

Além disso, os motogeradores a diesel comumente vazavam óleo (chamado de “suar”), o que reduzia a confiabilidade dos EMDs e tornava necessário limpezas no piso da sala, o que provocou a habitação da sala no momento do acionamento espúrio do sistema de CO₂. Cabe ressaltar que houve uma Ordem de Manutenção preventiva em 2021, a qual previa uma extensa lista de tarefas a serem executadas. Entretanto, diversas tarefas não foram executadas na época, incluindo “verificar se há vazamentos de diesel nas entradas dos bicos injetores, com o motor em marcha lenta” e “verificar fixação e vazamentos (selos e mangueiras) da bomba de óleo lubrificante do filtro centrífugo”.

6.8 GESTÃO DE TRABALHADORES CONTRATADOS

Este elemento foca em garantir que os trabalhos realizados por empresas terceirizadas em uma instalação sejam executados com segurança, minimizando os riscos tanto para os

trabalhadores contratados quanto para a própria instalação e seus funcionários. Logo, os terceirizados que trabalham em uma instalação devem estar submetidos aos mesmos padrões e normas de segurança aplicadas aos funcionários da empresa (CCPS, 2008).

No caso da plataforma P-19, os 4 funcionários que realizavam o serviço de retirada dos pisos e jateamento na sala dos EMDs no momento do acidente eram trabalhadores terceirizados das empresas GranIHC e Engeman. De acordo com os princípios do elemento, é essencial a realização de treinamentos adequados e comunicação clara sobre os riscos específicos da área onde irão atuar. Isso inclui o entendimento do funcionamento dos sistemas de proteção contra incêndio, seus alarmes associados e os procedimentos corretos de evacuação em caso de emergência.

Entretanto, as investigações evidenciaram que os trabalhadores envolvidos não possuíam conhecimento suficiente dos riscos existentes com a permanência prolongada em uma sala protegida por um sistema de gás carbônico, muito menos do risco de asfixia inerente a esse gás. Além disso, constatou-se a ausência de sinalização visual adequada no local, em desacordo com o que preconiza a norma NFPA 12 (2022), que exige alertas claros sobre os perigos associados à liberação de CO₂, que poderiam auxiliar no conhecimento por parte desses trabalhadores dos riscos da atividade.

6.9 TREINAMENTO E GARANTIA DE DESEMPENHO

O elemento Treinamento e Garantia de Desempenho tem como foco assegurar que os trabalhadores estejam devidamente capacitados e que seus desempenhos sejam confiáveis na execução de atividades críticas do processo. Isso inclui garantir que cada profissional atenda aos requisitos mínimos exigidos para a função que desempenha. Para o caso da plataforma P-19, nota-se uma forte correlação entre este elemento e o de Gerenciamento de Emergência, uma vez que as deficiências nos treinamentos realizados na plataforma contribuíram para falhas na resposta ao acidente.

A falta de conhecimento por parte dos trabalhadores sobre os riscos associados ao uso do CO₂, bem como a inadequação das ações tomadas diante da ativação dos alarmes e da emergência subsequente, evidenciam a falha na aplicação eficaz deste elemento. Esse cenário indica que tanto os *briefings* de chegada à plataforma quanto os simulados de emergência foram insuficientes para transmitir, de forma clara e impactante, as informações críticas e a gravidade dos riscos envolvidos. Além disso, os treinamentos falharam em abordar e testar

adequadamente o cenário específico de liberação de CO₂, comprometendo a capacidade de resposta dos operadores frente a esse tipo de ocorrência.

Com relação ao desempenho das tarefas, este é um aspecto complexo de se avaliar, considerando que as instruções fornecidas aos trabalhadores já continham falhas que contribuíram diretamente para o acidente. Por exemplo, se a própria Operadora determinava que as inspeções nos equipamentos fossem apenas visuais, não se pode atribuir aos operadores a responsabilidade por não terem realizado análises críticas, visto que estavam apenas seguindo o procedimento estabelecido.

Dessa forma, o erro não está na execução da tarefa em si, mas na decisão gerencial de designar profissionais que não possuíam o conhecimento técnico necessário para questionar a suficiência das instruções recebidas ou para identificar situações que exigiram avaliações mais rigorosas. Isso evidencia uma falha na seleção, qualificação e capacitação adequada dos trabalhadores, além de uma deficiência no sistema de garantia de desempenho.

6.10 GESTÃO DE MUDANÇAS

A Gestão de Mudança pode ser considerada um dos elementos centrais para a ocorrência do acidente na plataforma. Esse elemento tem como objetivo assegurar que quaisquer modificações realizadas em processos, equipamentos, procedimentos ou sistemas, como no caso da alteração da lógica de acionamento do sistema de CO₂ para a implementação do mecanismo de *double check*, não introduzam novos perigos nem aumentem os riscos existentes. Para isso, é essencial que toda mudança seja submetida a um processo estruturado de revisão, análise de riscos e autorização antes de sua implementação (CCPS, 2008).

No entanto, conforme evidenciado no relatório da ANP (2023), a Operadora falhou em aplicar esse processo de forma adequada, permitindo que uma alteração crítica fosse executada sem a devida avaliação técnica, o que contribuiu diretamente para a ocorrência do acidente. A proposta de alteração visava atender às exigências da NFPA 12 por meio da criação de uma nova barreira de segurança, antes da liberação do CO₂. No entanto, os riscos associados à implementação dessa nova lógica, bem como os possíveis cenários de falha e suas consequências, não foram devidamente considerados.

Essa omissão demonstra uma falha no processo de Gestão de Mudança que, por sua vez, relaciona-se diretamente com a ausência de uma análise de risco eficaz, conforme já discutido anteriormente. Ainda que esses riscos tenham sido identificados em algum momento, não houve a devida preocupação em tratá-los adequadamente, visto que foi possivelmente um erro de

programação que resultou no acionamento simultâneo das válvulas, liberando o gás de forma acidental.

Além disso, o processo de revisão técnica e aprovação também se mostram deficientes. A lógica modificada não passou por uma verificação adequada por uma equipe qualificada, como recomendado pela ANP. A etapa de testes prévios à implementação, essencial para garantir a prontidão operacional, não foi realizada, o que impediu a detecção do erro na lógica que anula a necessidade da confirmação manual.

6.11 GESTÃO DA EMERGÊNCIA

O elemento Gestão de Emergência tem como objetivo garantir um eficaz funcionamento de protocolos emergenciais dentro de uma empresa a partir do planejamento, preparação e capacidade de resposta para mitigar as consequências de incidentes do processo. Isso inclui a identificação de cenários de emergência potenciais, o desenvolvimento de planos de resposta, a disponibilização de equipamentos de proteção e resgate, o treinamento da força de trabalho e a realização de simulados periódicos (CCPS, 2008). Em relação ao acidente, é possível ressaltar a falha no elemento em questão em dois principais aspectos: a sobreposição sonora e visual dos alarmes de emergência da plataforma e a capacitação aos funcionários terceirizados em caso de emergência na planta.

Um sistema de gerenciamento de emergências eficaz exige que os alarmes sejam claros, distintos e compreensíveis, permitindo o reconhecimento imediato do tipo de emergência e da ação requerida. Entretanto, no caso da sala dos EMD's, a sobreposição sonora entre os alarmes de liberação de CO₂ e o alarme geral da plataforma dificultaram o reconhecimento dos trabalhadores sobre a urgência e a natureza do ocorrido. Ademais, a posição inadequada dos dispositivos sonoros e visuais impedia sua percepção a partir de certos pontos da sala, reduzindo significativamente a eficácia do alerta e atrasando a resposta adequada.

Por fim, a falta de treinamento dos funcionários foi evidenciada, juntamente com uma falta de planejamento emergencial caso ocorresse a ativação do sistema de gás carbônico quando a sala estivesse habitada. Os simulados de emergência realizados na plataforma falharam em incluir ou testar eficazmente este cenário. O planejamento de emergências deve garantir que todos os trabalhadores em áreas de risco conheçam os alarmes relevantes e os procedimentos de evacuação associados, e que essa capacidade seja testada regularmente através de simulados realistas.

6.12 INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES

A investigação de acidentes é essencial para o aprendizado organizacional pois permite a construção de conhecimento prévio sobre as causas e consequências dos eventos. Esse entendimento é fundamental para que a empresa adote medidas preventivas eficazes, tome decisões mais seguras e evite a repetição de acidentes semelhantes no futuro.

No caso da Petrobras, por ser uma empresa de grande porte, a estrutura de investigação e análise de acidentes já é consolidada (PETROBRAS, 2023). O problema, entretanto, pode residir em uma cultura de segurança fragilizada, que não valoriza adequadamente os aprendizados provenientes dessas investigações. Embora a estrutura formal exista, sua eficácia depende diretamente do comprometimento organizacional com a segurança. Isto pode ser observado visto diversos incidentes envolvendo sistemas de CO₂, como acionamentos espúrios, falhas de manutenção, problemas de projeto e dificuldades nas respostas emergenciais, que já haviam ocorrido anteriormente em outras unidades da frota da operadora, o que demonstra que esses riscos não eram inéditos.

Nesse contexto, considerando a vasta quantidade de informações disponíveis que deveriam ter sido utilizadas para evitar acidentes como este, o cenário revela não apenas falhas nos pilares de Comprometimento, Compreensão e Gerenciamento de Riscos, mas também uma deficiência crítica no pilar de Aprendizado com a Experiência. Apesar de a organização ter realizado investigações anteriores, ela falhou em transformar esses aprendizados em mudanças estruturais e eficazes que impedissem a repetição de falhas similares em outras unidades.

6.13 REVISÃO DE GESTÃO E MELHORIA CONTÍNUA

O último elemento do modelo RBPS estabelece que a Operadora da plataforma deve revisar periodicamente o desempenho global do sistema de segurança de processo. Essa revisão deve ser baseada nas informações coletadas tanto das operações da própria unidade quanto de outras plataformas da organização, como demonstrou o elemento anterior. A partir dessa análise, torna-se possível tomar decisões estratégicas mais assertivas, alocar recursos de forma eficiente, definir prioridades, remover barreiras e promover a melhoria contínua da segurança operacional em toda a empresa (CCPS, 2008).

No entanto, as diversas falhas identificadas no caso da plataforma P-19 revelam que esse processo não vinha sendo efetivamente aplicado. A repetição de problemas já observados em outras unidades, como falhas nos sistemas de CO₂, acionamentos espúrios, corrosão em válvulas e mangotes, e ausência de práticas robustas de gestão de mudança, demonstra que a Operadora falhou em transformar experiências anteriores em aprendizado dentro da organização. Além disso, a negligência na manutenção dos mangotes dos cilindros, cuja

necessidade era reportada por trabalhadores desde 2019, a ausência de bloqueios físicos nas salas protegidas por CO₂, bem como a não conformidade com as práticas recomendadas pela NFPA 12, são falhas que poderiam ter sido identificadas por meio de auditorias internas ou análises periódicas de desempenho.

Por fim, a ausência de revisões capazes de captar, analisar e agir sobre esses dados apenas evidencia uma cultura de melhoria que não estava enraizada. Um processo de revisão verdadeiramente eficaz poderia ter detectado essas fragilidades a tempo e promovido as correções necessárias, evitando a tragédia na P-19.

7 CONCLUSÃO

O trabalho em questão analisou o acidente ocorrido na plataforma P-19 da Petrobras, em agosto de 2022, localizada na Bacia de Campos, a 179 km da costa de Macaé, no norte do estado do Rio de Janeiro, sob a ótica do modelo de Gestão de Segurança de Processos Baseada em Risco (RBPS), desenvolvido pelo CCPS em 2008.

A investigação conduzida pela ANP (2023) relatou que quatro trabalhadores contratados realizavam a limpeza do óleo que havia vazado dos motores a diesel na sala dos motogeradores da unidade (sala dos EMDs). Dois deles eram responsáveis por retirar o piso gradeado para que os outros dois pudessem acessar e limpar o chão contaminado pelo líquido. Este era um procedimento considerado rotineiro na unidade, conforme relatos dos próprios funcionários da plataforma, não sendo tratado com a devida criticidade no que diz respeito aos riscos envolvidos. Ademais, durante a atividade de limpeza, o sistema de incêndio por CO₂ da plataforma foi acionado de forma espúria, liberando o agente extintor na sala onde os operadores atuavam, o que resultou no óbito de um dos trabalhadores.

Como as falhas que culminaram no acidente na plataforma P-19 possuem origens diversas e interligadas, para compreender o evento em sua totalidade, foi necessário estudar a fundo o sistema de combate a incêndio da unidade, bem como os procedimentos normativos e burocráticos adotados pela Petrobras em suas operações. A partir dessa análise, foi possível levantar e descartar hipóteses, além de identificar os possíveis fatores causais por meio da construção de uma árvore de falhas.

Com essa metodologia estruturada, elementos como Gestão de Mudança, Análises de Riscos (HIRA) e Competência com Segurança de Processos mostraram-se falhos, ou não estavam devidamente implementados, como sugere o modelo de Gestão de Segurança de Processos Baseada em Risco (RBPS). Dessa forma, a partir da identificação e profunda análise dos elementos ineficientes de cada um dos quatro pilares do modelo, demonstrou-se que com a

devida implementação de um sistema de gestão de riscos, diversas falhas que passaram despercebidas poderiam ter sido evidenciadas com antecedência, contribuindo para a mitigação dos riscos envolvidos na operação.

Destacam-se, com base no relatório da ANP (2023), as deficiências no projeto da sala dos cilindros de CO₂ e da sala dos motogeradores, em especial a implementação equivocada da lógica de *double check*, que comprometeu a segurança do sistema. Ainda foram observadas um programa de inspeção e testes dos equipamentos de segurança, conduzidos de forma superficial, sem métodos eficazes para identificar falhas mais internas. As Permissões de Trabalho (PTs) eram emitidas sem a análise de riscos exigida, desconsiderando perigos críticos como a liberação de CO₂. Além disso, a comunicação dos riscos e os treinamentos oferecidos foram insuficientes para garantir que os trabalhadores compreendessem e respondessem adequadamente aos perigos envolvidos.

Nesse sentido, foi possível concluir que ao menos 13 dos 20 elementos do modelo RBPS apresentaram falhas significativas. No entanto, o fator central para compreender a origem e a recorrência dessas falhas está na gestão inadequada da plataforma por parte da Petrobras.

Mesmo diante de não conformidades na aplicação do modelo RBPS, alguns fatores que contribuíram para o acidente já deveriam ter sido identificados, pois representavam violações claras a normas técnicas brasileiras e internacionais. Um exemplo crítico é a ausência da válvula de segurança (*lockout*) na sala dos EMD's, item obrigatório segundo a NFPA 12 (2023), norma de referência global para sistemas fixos de supressão de incêndio por CO₂, cuja função principal é permitir o bloqueio do sistema durante atividades de manutenção ou trabalhos em áreas protegidas, prevenindo disparos acidentais do agente extintor. Sua inexistência na sala em questão revela uma falha de projeto e um descumprimento normativo que, independentemente da adoção de modelos de gestão de risco, já configura uma condição inoperável.

Além disso, houve negligência na realização das análises de risco em etapas obrigatórias para a emissão de Permissões de Trabalho (PTs), além de deficiências estruturais no próprio processo de emissão das permissões. Relatos de operadores sobre equipamentos em condições inaceitáveis eram menosprezados e a substituição desses itens não era providenciada. (ANP, 2023)

A ausência de conhecimento por parte dos operadores quanto aos riscos envolvidos somada à falha nos treinamentos tanto para funcionários próprios, quanto para terceiros, evidencia ainda mais a fragilidade do sistema de gestão. Todos esses aspectos são de responsabilidade direta da gestora da plataforma e refletem uma falha sistêmica de condução e controle operacional.

Por fim, torna-se evidente que a Petrobras não possuía uma atuação efetiva no gerenciamento da segurança da plataforma. Mesmo diante do histórico de acidentes em outras unidades, como demonstrado no Capítulo 6, optou por não adotar medidas corretivas robustas e tampouco implementar melhorias estruturais que evitassem a recorrência de falhas semelhantes. Dessa forma, conclui-se que a ausência de um modelo de gestão de segurança contribuiu para um aumento da probabilidade do acidente fatal na plataforma P-19, uma probabilidade que poderia ser significativamente reduzida caso houvesse uma gestão estruturada com base nos princípios da identificação, avaliação e controle sistemático de riscos.

8 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA EUROPEIA PARA A SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO. Substâncias perigosas. Agência europeia para a segurança e saúde no trabalho, 2025. Disponível em: <https://osha.europa.eu/pt/themes/dangerous-substances>. Acesso em: 26 maio 2025.

AGÊNCIA EUROPEIA PARA A SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO. Glossário de Substâncias Perigosas. Agência europeia para a segurança e saúde no trabalho, 2025. Disponível em: <https://eguides.osha.europa.eu/dangerous-substances/glossary>. Acesso em: 26 maio 2025.

INSAG. AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA ATÔMICA - AIEA. Key practical issues in strengthening safety culture INSAG - 15. 2002. Disponível em: <www-pub.iaea.org/MTCD/publication/PDF/Pub1137_scr.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2025.

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Boletim Anual de Recursos e Reservas. Rio de Janeiro: ANP, 2022.

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Regulamento técnico do sistema de gerenciamento da segurança operacional das instalações marítimas de perfuração e produção de petróleo e gás natural – SGSO/2007. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/arq/regulamento_sgso.pdf. Acesso em: 26 maio 2025.

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Relatório Anual de Segurança Operacional das Atividades de Exploração e Produção de

Petróleo e Gás Natural: ano-base 2023. Brasília: ANP, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/arq/raso/2023-relatorio-anual-seguranca-operacional.pdf>. Acesso em: 26 maio 2025.

API - AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Process safety performance indicators for the refining and petrochemical industries. API RP 754. 2. ed. Washington, D.C.: API, 2016.

BOEM – BUREAU OF OCEAN ENERGY MANAGEMENT. Deep water: the Gulf oil disaster and the future of offshore drilling: report to the President. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 2011.

BRAGA, H. C.; ALVES, R. M. Aspectos Técnicos e Implicações Ambientais do Extintor de Incêndio Veicular ABC Descartável. In: IX Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2012, Resende. SEGET 2012. Resende, RJ: AEDB, p. 1-14, 2012.

ANAC. *Agência Nacional de Aviação Civil. Guia Prático: Abordagem dos Fatores Humanos, Desempenho Humano e Cultura de Segurança na AVSEC*. Brasília, DF: ANAC, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/regulados/aeroportos-e-aerodromos/avsec/arquivos/MANUALFatoresHumanosnaAVSEC10.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2025.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Relatório Anual de Segurança Operacional das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural 2023**. Rio de Janeiro: ANP, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/arq/raso/2023-relatorio-anual-seguranca-operacional.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2025.

GOV. *Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Matriz de criticidade – Metodologia de avaliação de riscos*. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/governanca-estrategia-e-riscos/eixos-da-governanca/gestao-de-riscos/metodologia-de-avaliacao-de-riscos/matriz-de-criticidade>. Acesso em: 11 jun. 2025.

MTE. NR-15 – Atividades e Operações Insalubres. Anexo 11 – Agentes químicos cuja insalubridade é caracterizada por limite de tolerância e inspeção no local de trabalho. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a->

informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-15-anexo-11.pdf.

BRETANO, Telmo. *Instalações Hidráulicas de Combate a Incêndios Nas Edificações*. 3rd ed., EDIPUCRS, 2007.

BUCKA. Como funciona o pó químico no combate a incêndio. Bucka, 2016. Disponível em: <https://www.bucka.com.br/como-funciona-o-po-quimico-no-combate-a-incendio/>. Acesso em: 26 maio 2025.

BUCKA. Bicos difusores: manual técnico. Bucka, 2025. Disponível em: <https://www.bucka.com.br/downloads-combate-incendio/manuais/bicos-difusores.pdf>. Acesso em: 26 maio 2025.

BUCKA. Válvula direcional: manual técnico. Bucka, 2025. Disponível em: <https://www.bucka.com.br/downloads-combate-incendio/manuais/valvula-direcional.pdf>. Acesso em: 26 maio 2025.

BUCKA. Líquido gerador de espuma: entenda como funciona o LGE. Bucka, 2025. Disponível em: <https://www.bucka.com.br/liquido-gerador-de-espuma-entenda-como-funciona-o-lge/>. Acesso em: 26 maio 2025.

BAYBUTT, P; Process safety management. *Process safety progress*, v. 33, n. 4, p. 407–407, 2014.

CASTILHO, D. L.; GODOY, V. P. de; BARROS, B. T. F.; BORGES, T. J.; JUNIOR, C. A. V. Sistema de Gestão de Segurança em laboratórios de Ensino e Pesquisa: Uma visão inicial. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 12, p. 94638–94658, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/21009>. Acesso em: 21 jun. 2025.

CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY (CCPS). *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*. [s.l.] Wiley-AIChE, 2008.

Corpo de Bombeiro Militar de Santa Catarina (CBMSC). *Tópicos introdutórios: ciências do fogo* / Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. 1. ed. Florianópolis, 2018.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS (CBMGO). *Norma Técnica nº 26/2023 – Sistema fixo de gases para combate a incêndio*. Goiânia: CBMGO, 2023.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (CBMERJ). Nota Técnica nº 2-13: Sistemas fixos de gases para combate a incêndio. 1. ed. Rio de Janeiro: CBMERJ, 2019.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (CBMERJ). Nota Técnica nº 2-13:2023 – Sistemas fixos de gases para combate a incêndio. 2. ed. Rio de Janeiro: CBMERJ, 2023.

DEKKER, Sidney. The field guide to understanding ‘human error’. 3. ed. Farnham: Ashgate, 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Matriz de Criticidade. GOV.BR, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/governanca-estrategia-e-riscos/eixos-da-governanca/gestao-de-riscos/metodologia-de-avaliacao-de-riscos/matriz-de-criticidade>. Acesso em: 26 maio 2025.

ENGENHARIA DE INCÊNDIO. Válvula de comando do cilindro de co2 - sistema de combate a incêndio fixo. YouTube, 2025. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=1drBRtqUjVo>. Acesso em: 26 maio 2025.

EPA. Carbon dioxide as a fire suppressant: examining the risks. Washington, DC: Office of Air and Radiation, Stratospheric Protection Division, 2000. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/co2report.pdf>. Acesso em: 26 maio 2025

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2024. Brasília: EPE, 2024.

FIBRACEM. O que é grau de proteção IP? Fibracem, 2021. Disponível em: <https://www.fibracem.com/o-que-e-grau-de-protecao-ip/>. Acesso em: 26 maio 2025.

FIKE CORPORATION. Industrial carbon dioxide extinguishing system with DOT containers: design, installation & maintenance manual. Rev. 7, Mar. 2018.

FLEURY, M. T. L.; FLEURY, A. Construindo o conceito de competência. Revista de Administração Contemporânea, v. 5, n. spe, p. 183–196, 2001.

FOFANO, Socrates; KOVALESKI, João Luiz. Gestão baseada em riscos como estratégia para atendimento legal: o caso da implantação do Sistema de Gerenciamento de Segurança

Operacional nas Refinarias da Petrobras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PROFISSIONAIS DE PESQUISA OPERACIONAL E ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – CONBREPRO, 2023. Anais... [S.l.]: Aprepro, 2023. Disponível em: https://aprepro.org.br/conbrepro/anais/2023/arquivos/08092023_160803_64d3eedb71bce.pdf. Acesso em: 09 mar. 2025.

FEPAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER. Manual de classificação de produtos perigosos. Porto Alegre: FEPAM, 2021. Disponível em: <https://fepam.rs.gov.br/upload/arquivos/202212/26133322-manual-classificacao-produto-perigoso.pdf>. Acesso em: 26 maio 2025.

GUERRA, António Matos; COELHO, José Augusto; LEITÃO, Ruben Elvas. Fenomenologia da combustão e extintores. 2. ed. Sintra: Escola Nacional de Bombeiros, 2006.

HALE, A. R. Culture's confusions. Safety Science, v. 34, n. 1–3, p. 3–14, 2000.

HIDRÁULICA POTENZA. Sprinklers Viking. Hidráulica Potenza, 2025. Disponível em: <https://www.hidraulicapotenza.com.br/produtos/sistema-de-protecao-contraincendio/sprinklers-viking/#>. Acesso em: 26 maio 2025.

SATO, Hiroaki, et al. “An Autopsy Case of Drowning Caused by Accidental Carbon Dioxide Intoxication in a Hold Tank.” Journal of UOEH, vol. 31, no. 4, 1 Jan. 2009, pp. 353–358, <https://doi.org/10.7888/juoeh.31.353>. Accessed 21 June 2025.

HSE. GREAT BRITAIN. HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. The control of major accident hazards regulations 2015: guidance on regulations. Merseyside, Liverpool: Hse Books, 2015.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION et al. International Standard Norme Internationale. IEC, Edition, v. 3, 2015.

JOÃO. ABC ALARMES. Giroflex com Sirene Industrial: A Importância da Segurança e Sinalização - ABC Alarmes. Disponível em: <https://www.abcalarmes.com.br/blog/categorias/sinalizacao/giroflex-com-sirene-industrial-a-importancia-da-seguranca-e-sinalizacao>. Acesso em: 26 mai. 2025.

KADRI, S. H.; JONES, D. W. Nurturing a strong process safety culture. Process safety progress, v. 25, n. 1, p. 16–20, 2006.

KHAN, Faisal; HASHEMI, Seyed Javad; PALTRINIERI, Nicola; AMYOTTE, Paul; COZZANI, Valerio; RENIERS, Genserik. Dynamic risk management: a contemporary approach to process safety management. *Current Opinion in Chemical Engineering*, [s.l.], v. 14, p. 9-17, nov. 2016.

KIM, A. Recent development in fire suppression systems. *Fire Safety Science*, v. 5, p. 12-27, 2001.

LI, Yuling; GULDENMUND, Frank W. Safety management systems: a broad overview of the literature. *Safety Science*, [s.l.], v. 103, p. 94-123, mar. 2018.

MACZA, Murray. *A Canadian Perspective of the History of Process Safety Management Legislation*. Cologne, Germany. 2008.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, DESENVOLVIMENTO E GESTÃO. Matriz de Riscos. Versão 1.1. Brasília: Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/centrais-de-conteudo/170609-matriz-de-riscos-v1-1-pdf>. Acesso em: 26 maio 2025.

MTE. NR-35: Trabalho em altura. Atualizada pela Portaria MTE nº 3.903, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/NR35atualizada2023.pdf>.

MIRANDA, J. M.; AMARAL, M. S. *Petróleo no Brasil: Geopolítica, Regulação e Desenvolvimento*. São Paulo: Editora Synergia, 2017.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA). NFPA 12: Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems. Quincy, MA: NFPA, 2022.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA). NFPA 2001: Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems. Quincy, MA: NFPA, 2018.

SCHILL, A. L.; CHOSEWOOD, L. C. The NIOSH Total Worker HealthTM Program. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**, v. 55, p. S8–S11, dez. 2013.

NOGUEIRA, A. M.; ASSUNÇÃO, M. H. de; JUNIOR, C. A. V. Panorama Geral de um Sistema de Gestão de Segurança de Processos Baseado no Risco (RBPS) no Contexto da Indústria Química/ Overview of a Risk-Based Process Safety Management System (RBPS) in

the Context of the Chemical Industry. Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 7, n. 8, p. 79210–79240, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n8-233. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/34227>. Acesso em: 20 jun. 2025.

LIMA, F. DE O.; TELES, C. R. Segurança em plataformas DE perfuração e produção DE petróleo offshore: Aplicação Da metodologia Lean Six Sigma: Safety on drilling and production oil platforms: Application of Lean Six Sigma methodology. Brazilian Journal of Production Engineering - BJPE, p. 49–60, 2022.

OLIVEIRA, R. M. Normalização do desvio: um velho-novo desafio para a gestão em saúde. Gestão & Cuidado em Saúde, Fortaleza, v. 1, n. 2, p. e12476, 2023. DOI: 10.70368/gecs.v1i2.12476. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/gestaoecuidado/article/view/12476>. Acesso em: 20 jun. 2025.

PARÁ. Secretaria de Estado de Planejamento e Administração. Cartilha de combate a incêndio. Belém: SEPLAD, 2019. Disponível em: <https://seplad.pa.gov.br/wp-content/uploads/2019/11/Cartilha-Combate-Incêndio-2019.pdf>. Acesso em: 7 maio 2025.

PEREIRA, Áderson Guimarães. Segurança contra incêndios. São Paulo: LTR, 2009. 179 p

DENTI, A. F.; DALLAGO, R. M.; STEFFENS, J. Engenharia de Segurança Contra Incêndios: Uma breve revisão a respeito do princípio de incêndios, classificações gerais e medidas de proteção. Perspectiva, v. 46, n. 174, 2022. Disponível em: <http://ojs.uricer.edu.br/ojs/index.php/perspectiva/article/view/246>. Acesso em: 26 de maio de 2025.

PETROBRAS. **Programa de Descomissionamento de Instalações Marítimas**: Plataforma P-19. [S.l.]: Petrobras, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/arq/ppdi/pdi-executivo-p-19-1.pdf>. Acesso em: 26 maio 2025.

PETROBRAS. **Relatório de Sustentabilidade 2023**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2023. Disponível em: <https://sustentabilidade.petrobras.com.br/documents/1449993/82badcb9-71d0-47be-67dc-cbc99aa48a56>. Acesso em: 5 jun. 2025.

PETROBRAS. Trajetória. Disponível em: <https://petrobras.com.br/quem-somos/trajetoria>. Acesso em: 7 jun. 2025.

PIENAAR, P. E. K.; MÖLLER, P. R. M. A Framework for Managing Change in Industrial Operations. *Journal of Process Control*, v. 20, n. 7, p. 906-916, 2010.

ABNT. NBR ISO 31000: *Gestão de riscos – Diretrizes*. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

CCPS; Guidelines for Risk Based Process Safety, Editora Wiley, (2007).

PRADA PÉREZ DE AZPEITIA, Fernando Ignacio de. Química aplicada a la seguridad: agentes extintores de fuego. *Aula y Laboratorio de Química*, [S. l.], n. 9, p. 213-220, 2009.

RICHTER, A.; KOCH, C. Integration, differentiation and ambiguity in safety cultures. *Safety Science*, n. 42, p. 703-722, 2004.

ROESE, N. J.; VOHS, K. D. Hindsight bias. *Perspectives on Psychological Science*, Thousand Oaks, v. 7, n. 5, p. 411–426, set. 2012.

SANTOS, L. H.; LIMA, M. A. ESG e Segurança Operacional na Indústria de Petróleo: Convergência de Práticas e Desafios. *Revista Brasileira de Energia*, v. 31, n. 1, p. 56-72, 2023.

SEITO, A.I.; GIL, A.A; PANNONI, F.D; ONO, R; SILVA, S.B; CARLO, U.D; SILVA, V.P. *A Segurança contra incêndio no Brasil*. 1.ed., São Paulo: Projeto Editora, 2008.

SENIOR SERVICE. *Sistema de combate com gás: conheça essa alternativa*. Senior Service, [s.d.]. Disponível em: <https://seniorservice.com.br/sistema-de-combate-com-gas.php>. Acesso em: 11 jun. 2025.

SILVA, Daniel. *Estudo de sistemas fixos de combate a incêndio por agentes gasosos*. 2012. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2012.

PACE, E. S. U.; BASSO, L. F. C.; SILVA, M. A. DA. Indicadores de desempenho como direcionadores de valor. *Revista de Administração Contemporânea*, v. 7, n. 1, p. 37–65, 2003.

SILVA, Priscilla Moser. *Cultura de segurança no trabalho: estudo de caso no setor da construção civil*. 2012. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2012.

SANTOS, A. M. dos. Engenharia de petróleo: exploração, produção, processamento e logística. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

SPEIGHT, J. G. Handbook of Offshore Oil and Gas Operations, 1st ed.; Gulf Professional Publishing: Waltham, MA, USA, 2015.

USBR - UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR BUREAU OF RECLAMATION. Firefighting and Fire Prevention. Facilities Instructions, Standards, and Techniques, v. 5, n. 2, P. 1-28, 2000.

CSB. Chemical Safety Board - Investigation Report: Refinery Explosion and Fire, BP, Texas City, 2007. Disponível em: <https://www.csb.gov/assets/1/20/csbfinalreportbp.pdf>.

WAY, Daniel Vieira. *Acidentes por asfixia com nitrogênio analisados sob a ótica do RBPS e da NR-33*. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.