

Pós-Graduação

Segurança de Processos



LISTA DE VERIFICAÇÃO PARA GARANTIA DE CONFIABILIDADE E DISPONIBILIDADE DOS SISTEMAS DE DETECÇÃO DE FOGO E GÁS EM INSTALAÇÕES *OFFSHORE*

**Alexandre Bonavita, André L. Siqueira, Henrique Furtado, Jéssica
Santiago e Livia Araújo**

RESUMO

Os sistemas de detecção de fogo e gás são classificados como elementos críticos de Segurança de Processos em unidades de produção offshore, atuando como uma barreira de mitigação essencial para cenários de perda de contenção de gases e incêndios. O Sistema de Detecção deve estar coberto pela gestão eficaz da Integridade destes ativos a fim de assegurar a confiabilidade e disponibilidade através de especificações de projeto, manutenções, testes e inspeções. O objeto deste estudo é apresentar uma abordagem para assegurar a confiabilidade e disponibilidade de Sistemas de Detecção de fogo e gás em Unidades Offshore, propondo uma lista de verificação a fim de prover confiança para o operador da Instalação, regulador e demais partes interessadas.

Palavras-chave: *Detecção de Fogo e Gás, Elementos Críticos, Gestão de Integridade, Unidades Offshore, Auditoria de barreira.*

ABSTRACT

Fire and gas detection systems are classified as critical elements of Process Safety in offshore production units, acting as an essential mitigation barrier for gas and fire containment loss scenarios. The Detection System should be covered by effective Management of The Integrity of these assets in order to ensure reliability and availability through design specifications, maintenance, testing and inspections. The object of this study is to present an approach to ensure the reliability and availability of Fire and Gas Detection Systems in Offshore Units, proposing a checklist in order to provide confidence for the facility operator, regulator and other stakeholders.

Keywords: *Fire and Gas Detection, Critical Elements, Integrity Management, Offshore Unit, Barriers Audit.*

SIGLAS

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ABNT	<i>Associação Brasileira de Normas Técnicas</i>
ADV	<i>Automatic Deluge Valve</i> (Válvula automática de dilúvio)
BCI	Bomba de combate a incêndio
CCF	Falhas de causa comum
CCPS	<i>Chemical Center for Process Safety</i>
CCR	<i>Central Control Room</i> (Sala de controle central)
E&P	Exploração & Produção de Petróleo e Gás Natural
ESD	<i>Emergency Shutdown</i> (Parada de Emergência)
FPSO	<i>Floating, Production, Storage and Offloading</i> (Unidade Flutuante de Produção e Armazenamento e Transferência de Petróleo)
HSE	<i>Health and Safety Executive.</i>
IR	Infravermelho
NBR	Normas Brasileiras
MSIR	Infravermelho Multiespectro
NFPA	<i>National Fire Protection Association</i>
PLC	Controladores lógicos programáveis
PSV	<i>Pressure Safety Valve</i> (Válvula de Segurança para alívio de pressão)
SDV	<i>Shutdown Valve</i> (Válvulas de Parada de Emergência)
SGSO	Sistema de Gestão e Segurança Operacional
SIF	Função Instrumentada de Segurança
SIL	Nível de Integridade de Segurança
SIS	Sistemas Instrumentados de Segurança
UV	Ultravioleta
UV/IR	Ultravioleta / Infravermelho

1. INTRODUÇÃO

O setor de óleo e gás no Brasil passa por um forte crescimento no setor de exploração e produção de petróleo e gás natural, motivado no passado pelas políticas públicas de busca da autossuficiência entre produção e consumo; da revisão do modelo de regulatório de concessão incluindo a quebra de monopólio do Estado para as atividades de Exploração & Produção (E&P) de Petróleo e Gás Natural, pelas descobertas recentes de campos de petróleo e gás natural cada vez mais longe da costa marítima e maiores profundidades do leito marinho; e do desenvolvimento de tecnologias.

O Ministério de Minas e Energia prevê que em 2029 a produção brasileira de petróleo atingirá um patamar acima de 5,5 milhões de barris de petróleo diários e 250 milhões de m³ diários de gás natural, representando praticamente o dobro da produção atual e os campos do pré-sal respondam por mais de 75% da produção nacional (EPE, 2019).

Por outro lado, é previsível que com a intensificação das atividades operacionais associadas a campos de produção cada vez distantes da costa com maiores volumes de produção e poços mais profundos, haja também maior exposição aos riscos, além de novos riscos envolvidos associados a logísticas, condições geológicas e novas tecnologias.

O relatório anual de fiscalização de Segurança operacional das atividades de exploração e produção de óleo e gás aponta que a maior quantidade de incidentes nas atividades marítimas comunicadas no período é relativa a princípio de incêndio, atingindo 45,60 ocorrências para cada 100 unidades em operação no país. O mesmo relatório ainda aponta que no ano de 2021, a taxa de incêndio em instalações de exploração e produção *offshore* apresentou o valor de 0,55 ocorrências para cada 100 unidades de operação, o maior índice atingido para este indicador desde o início de seu monitoramento em 2012 e valores bastantes acima do benchmarking internacional, “*Institute of Regulators Forum*” de 2021 (SSM/ANP, 2021).

Tendo em vista o aumento dos riscos, torna-se necessário ter um eficiente sistema de prevenção e combate a incêndio em unidades marítimas. O objetivo dos sistemas de proteção e combate a incêndio é prover a Unidade com recursos para proteção, controle e extinção de incêndios, de forma a evitar a sua propagação e o seu escalonamento.

O sistema de detecção de fogo e gases tóxicos e/ou inflamáveis deve monitorar continuamente a presença de fogo ou gases originados de cenários acidentais, a fim de alertar as pessoas e permitir ações de controle a serem iniciadas manualmente ou automaticamente, para minimizar a possibilidade de propagação do incêndio, explosão e a probabilidade de exposição das pessoas.

Para a garantia do gerenciamento de segurança operacional, a ANP (Agência Nacional de Petróleo) exige a identificação e descrição dos elementos críticos de segurança operacional e monitoração dos sistemas para gerenciamento e controle dos mesmos. Os elementos são considerados críticos quando essenciais para a prevenção ou mitigação ou que, em caso de falha, possam provocar um acidente operacional.

No ano de 2021, a ANP realizou 48 ações de fiscalização e foram emitidas 295 não-conformidades. Destas não-conformidades, 45 foram classificadas como críticas, atingindo um nível de criticidade de 15% das falhas apontadas nas auditorias de fiscalização. Parte das não conformidades críticas se relaciona a desvios em elementos críticos, como sistema de dilúvio, sistemas de detecção de fogo e gás, falha na garantia da integridade mecânica das linhas de processo e da rede de combate a incêndio (seja por falta ou atraso nas inspeções ou pela falha no gerenciamento das recomendações técnicas), bomba de combate a incêndio com desempenho inferior ao recomendado por normas e/ou boas práticas de engenharia. Estas não-conformidades críticas implicam na aplicação de sanções, aplicação de multas elevadas e na interdição das atividades operacionais da Unidade.

Sendo assim, o objetivo geral deste trabalho é apresentar uma abordagem para assegurar a confiabilidade e disponibilidade de Sistemas de Detecção de Fogo e Gás em Unidades *Offshore*.

Tendo os seguintes objetivos específicos: Levantamento dos requisitos de normas nacionais e internacionais para garantir a disponibilidade dos sistemas de Detecção de Fogo e Gás; Elaboração de uma lista de verificação para garantir a disponibilidade e confiabilidade dos Sistemas de detecção de fogo e gás.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Elementos Críticos

Os elementos são considerados críticos quando essenciais para a prevenção ou mitigação ou que, em caso de falha, possam provocar um acidente operacional. Estes elementos críticos são classificados em três categorias: Equipamento, Sistema e Procedimento Crítico de Segurança Operacional (SGSO ANP, 2007).

- **Equipamento Crítico de Segurança Operacional** é qualquer equipamento ou elemento estrutural da Instalação que poderia, em caso de falha, causar ou contribuir significativamente para um quase acidente ou para um acidente operacional.
- **Sistema Crítico de Segurança Operacional** é qualquer sistema de controle de engenharia que tenha sido projetado para manter a Instalação dentro dos limites operacionais de segurança, parar total ou parcialmente a Instalação ou um processo, no caso de uma falha na segurança operacional ou reduzir a exposição humana às consequências de eventuais falhas.
- **Procedimento Crítico de Segurança Operacional** é um procedimento ou critério utilizado para controle de riscos operacionais.

É de responsabilidade do Operador da instalação identificar e descrever as características essenciais e as funções dos Elementos Críticos de Segurança Operacional.

O Operador da Instalação deverá ainda estabelecer procedimentos de contingência e um sistema de aprovação e de controle dos mesmos, a ser utilizado quando Equipamentos ou Sistemas Críticos de Segurança Operacional estejam em condições degradadas ou fora de operação. Tais procedimentos estabelecerão medidas temporárias que possam suprir a falta de Equipamentos ou Sistemas Críticos de Segurança Operacional, devido à falha, degradação ou fora de operação. Tais medidas deverão incluir, quando aplicável: Implantação de controles alternativos equivalentes; Redução e limitação da produção; e Isolamento e parada de equipamentos, sistemas, instalações (SGSO ANP, 2007).

Alguns exemplos de elementos críticos são: Válvulas de Parada de Emergência (SDV), Válvula de Segurança para alívio de pressão (PSV), Sistema de combate a incêndio, Bomba de combate a incêndio (BCI), Sistema de Detecção de Fogo e Gás e outros.

A ANP como intuito de aprimorar a segurança das operações de E&P, a partir das constatações apresentadas no relatório de atividades de fiscalização de 2021, estabeleceu como desafio número 1 para a indústria de Óleo & Gás, a garantia da disponibilidade e integridade de sistemas e equipamentos críticos, com implementação de contingência na falha, capacitação em procedimentos críticos e controle de inspeções e manutenção como estratégia de fiscalização (SGSO, 2021).

Nesse sentido, em março de 2022, a Agência reguladora publicou a Nota Técnica Nº 4/2022/SSM-CSO/SSM/ANP-RJ que trata o assunto “Metodologia para a realização de Autodiagnóstico/Auditoria de Barreiras” com o objetivo de definir critérios mínimos a serem levados em consideração durante a elaboração de autodiagnóstico/Auditoria de Barreiras quando demandado pela ANP.

Como recomendação geral a Nota Técnica sugere que o Operador elabore um protocolo de auditoria de barreira, preferencialmente específico para cada barreira. A Nota Técnica define barreira como : Mecanismos físicos (hardware) e procedimentos administrativos projetados ou executados para impedir ou mitigar acidentes. Sinônimo “Controles” e “Salvaguardas” (CCPS, 2014). Barreiras críticas são aquelas que atendem o critério definido pelo Operador para serem consideradas Elementos Críticos conforme SGSO (item 11.2 Identificação dos elementos críticos de segurança operacional)

Ainda em dezembro de 2022, a ANP publicou no Diário Oficial da União, o processo de Consulta e Audiência Pública número 28 de 2022 com o intuito de obter subsídios e informações para a revisão do regime de segurança operacional, incluindo propostas de minuta para a resolução e o Regulamento Técnico do Sistema de Gestão de Segurança Operacional. A minuta da resolução e do Regulamento Técnico traz modificações relevantes no que tange a Prática de Gestão nº 11 (elementos críticos de segurança operacional) do regulamento técnico do SGSO, incluindo a obrigação do Operador de examinar os elementos críticos de segurança operacional por meio de um diagnóstico periódico e padronizado de um verificador independente a ser produzido por terceira parte com conhecimento apropriado.

A minuta do Regulamento Técnico do SGSO ainda tem como proposta a obrigatoriedade de que o Operador da Instalação elabore uma lista de Elementos Críticos de Segurança Operacional, correlacionando-os ao cenário de risco e ao Padrão de Desempenho, o qual deve estar alinhado a padrões, códigos, normas e outras melhores práticas da indústria para cada Elemento Crítico de Segurança Operacional, incluindo:

a) Características essenciais e funções dos Elementos Críticos de Segurança Operacional;

b) Requisitos de verificação periódica da funcionalidade, examinando a capacidade do Equipamento ou Sistema Crítico de Segurança Operacional atuar conforme especificação de projeto;

c) Requisitos de verificação periódica da integridade, garantindo a disponibilidade e a confiabilidade do equipamento ou do Sistema Crítico de Segurança Operacional atuar quando demandado; e

d) Requisitos de verificação periódica de vulnerabilidade, garantindo o funcionamento sob cargas externas decorrentes de uma grande emergência e as dependências com outros Elementos Críticos de Segurança Operacional.

A verificação dos Elementos Críticos de Segurança Operacional deve dispor responsável designado por garantir a funcionalidade, a disponibilidade e a confiabilidade de cada Elemento Crítico de Segurança Operacional, com conhecimento e autonomia para executar o seu controle e procedimento para verificação que inclua:

- Periodicidade da verificação;
- Conhecimentos e habilidades necessários para o executor da verificação;
- Classificação da condição de falha, falta ou degradação do Elemento Crítico de Segurança Operacional;
- Registro do resultado da verificação; e
- Comunicação imediata ao nível gerencial adequado e ao responsável pelo Elemento Crítico de Segurança Operacional quando identificada a condição de falha, falta ou degradação.

A proposta para o futuro regulamento ainda demanda uma sistemática para o controle de Elementos Críticos de Segurança Operacional e procedimentos de contingência para suprir a condição de falha, falta ou degradação destes elementos. A condição de degradação inclui o não atendimento aos requisitos do padrão de desempenho, à periodicidade de verificação, ou aos critérios de projeto. O restabelecimento imediato do desempenho do Elemento Crítico de Segurança Operacional, ao constatar a condição de falha, falta ou degradação ou em situações excepcionais e o estabelecimento de medidas temporárias equivalentes, considerando a necessidade de aplicação dos conceitos de gerenciamento de mudanças.

2.2. Parada de emergência (*Emergency Shutdown*)

Segundo a Diretriz de Engenharia de Segurança (Petrobras, 2018), a filosofia de *shutdown* é composta por 04 (quatro) grande níveis de parada. Considerando uma ordem hierárquica, os níveis de *shutdown* são:

- **Nível 1 (ESD-1)** - Parada parcial dos sistemas de processo e utilidades ou parada de um equipamento;
- **Nível 2 (ESD-2)** - Parada total somente do sistema de processo sem afetar as utilidades. Ocorrera se uma variável do processo tal como pressão, temperatura e nível de líquido exceder os limites do projeto;
- **Nível 3 (ESD-3)** - Parada somente dos sistemas de processo e de utilidades não essenciais. Em geral, a iniciação será a partir da Detecção de Fogo e Gás. Este nível é dividido em dois sinais de parada:
 - ESD-3P (Parada parcial) – Neste nível, a geração principal é mantida utilizando diesel.
 - ESD-3T (Parada total) – Interrupção do fornecimento de energia elétrica principal e partida da geração de emergência.
- **Nível 4 (ESD-4)** - Parada total somente dos sistemas de processo e de utilidades, exceto para os serviços considerados criticamente essenciais, ou seja, associados diretamente à segurança do pessoal e do patrimônio da Instalação. Neste nível ocorre a despressurização da planta de processo e preparação para abandono.

Cabe salientar que os níveis de *shutdown* geram automaticamente o nível de ESD anterior. ESD-2 gera automaticamente ESD1; ESD-3T gera automaticamente ESD-3P que gera automaticamente ESD-2 e ESD-4 gera automaticamente ESD3T.

2.3. Lógica de votação e Lógica de detecção

Segundo a Diretriz de Engenharia de Segurança (Petrobras, 2018), Lógica de votação e Lógica de detecção são definidas da seguinte forma:

a) Lógica de Votação:

É o número mínimo de detectores de uma zona de incêndio que devem ser sensibilizados para iniciar as ações automáticas de segurança na Instalação, considerando a cobertura da zona por N detectores.

Exemplo: 2ooN ($N \geq 3$), isto é, 2 detectores, dos N detectores existentes em uma zona, devem ser sensibilizados para iniciar as ações automáticas de segurança.

Os detectores de fogo e gás que estiverem em falha devem ser considerados atuados, gerando alarme na sala de controle central (CCR), e em caso de atuação de outro detector na mesma zona devem ser iniciadas as ações de proteção previstas.

Os detectores que estiverem fora de operação (*override*) devem ser considerados atuados (apenas um voto na lógica de votação, independentemente do número de detectores em *override*), levando à degradação da lógica de votação para 1oo(N-M), sendo N o número de detectores do grupo de votação e M número de detectores em *override*. Se a zona apresentar um ou mais detectores em *override*, a falha de um outro detector desta mesma zona não deverá iniciar ações de ESD-3. Caso o detector em falha não seja colocado em *override*, a falha segue a lógica de votação de 2 de (N-M), onde a ocorrência de uma segunda falha resultaria no ESD-3.

A falha de qualquer instrumento do sistema de detecção de incêndio (inclusive PIT da rede de plugue fusível) não deve levar à abertura de válvula automática de dilúvio (ADV) e partida de bomba de combate a incêndio (BCI).

b) Lógica de detecção:

É o número de detectores que cada cenário é monitorado.

Exemplo: Tipo 2 de 3, isto é, cada cenário (nuvem de gás) ou equipamento deve ser monitorado por, pelo menos, 3 detectores.

2.4. Sistema de Detecção e Alarme de Fogo e Gás

Sistema fixo de detecção e monitoramento da Instalação é composto por detectores de chama, fumaça, temperatura e gás, sistemas de controle, alarmes e atuadores que iniciam ou efetuam as ações de segurança em casos de fogo ou gás detectado e alarmado (N-2914).

IDRIS AM et. al (2020) define os subsistemas que compõem um sistema de proteção contra incêndio como:

- **Fonte de alimentação:** Um dispositivo que atua como fonte de alimentação para operação do sistema;
- **Painel de Controle de Alarme de Fogo:** Controlador que recebe as entradas dos dispositivos de detecção, toma as decisões e inicia as ações apropriadas.
- **Dispositivos Iniciadores:** O dispositivo de entrada como origem do alarme de incêndio (Ativação de notificação e/ou supressão). Eles são divididos em dois tipos: estação de botoeira manual e dispositivos de sinalização automática, como detector de fumaça, detector de calor, detector de chama e detector de gás.
- **Dispositivos de alarme de sinalização sonora e visual:** Por exemplo, campainha, sirene e sinal luminoso.
- **Dispositivos Auxiliares:** Dispositivo que se conecta a outros sistemas envolvidos.

2.4.1. Detectores de Fogo

As Instalações deverão estar equipadas com detectores de fogo para o monitoramento das diversas áreas e de forma a cumprir com a lógica de votação para *shutdown* (ESD), especificada na **Tabela 1**. Outras ações de segurança também tomadas são: alarme, fechamento de *dampers* ou parada de equipamento/painel.

Não existe uma solução única para detecção de incêndio em áreas perigosas. A proteção efetiva é baseada nos materiais e combustíveis presentes, nos processos envolvidos, no meio ambiente e em outras medidas de controle presentes. Com base

nessas variáveis, um sistema eficaz de detecção e supressão pode exigir várias tecnologias para detectar efetivamente os perigos.

Tabela 1: Seleção dos tipos de detectores de fogo para FPSO.

Área de Instalação	Tipo de Detector	Lógica de votação para ESD
- Áreas de conexões de <i>risers</i> (balcão superior de <i>risers</i> ou áreas internas ao turret) - Áreas de estocagem de produtos inflamáveis e/ou combustíveis, incluindo o álcool. - Áreas de <i>offloading</i>	Chama	2ooN ($N \geq 3$)
- Áreas de cabeça de poços - Áreas de processo - Convés Principal, sobre os tanques de carga - Casa de bombas de carga	Plugue Fusível e Chama	2ooN ($N \geq 3$) (Nota 1)
- Área sob influência do <i>Flare</i>	Plugue Fusível	(Nota 2)
- Salas de Painéis Elétricos Essenciais - Salas de Painel Principal e de Transformadores	Fumaça	2ooN ($N \geq 3$)
- Salas de Controle e Equipamentos Elétricos (painéis, bateria, carregador de bateria, praça de máquinas) - Salas de Telecomunicação e de Rádio - Espaços confinados por pisos e/ou forros falsos de salas de controle	Fumaça	ESD 3 Não requerido
- Laboratórios	Termovelocimétrico	ESD 3 Não requerido
- Invólucros de Acionadores de Geração Elétrica e/ou de Compressão de Gás - Ambientes fechados que contenham motores de combustão interna ou tanques diários de diesel	Chama (Nota 3) e Temperatura Fixa	2ooN ($N \geq 2$)

Fonte: Diretriz de Engenharia de Segurança (Petrobras, 2018)

Seguem alguns tipos de detectores de fogo:

2.4.1.1. Detectores de Chama

A NFPA 72 descreve um detector de chama como “Um detector de incêndio com sensor de energia radiante que detecta a energia radiante emitida por uma chama”. É recomendado que sejam instalados detectores de chama para os cenários de incêndio em poça e jato de fogo nas áreas de processo e em parques de bombas que operem com gases liquefeitos e líquidos inflamáveis. Os detectores de chama são dispositivos de

linha de visão que utilizam métodos óticos para detectar chamas, ou seja, eles detectam a absorção de luz em comprimentos de onda específicos: ultravioleta (UV), infravermelho (IR), ultravioleta/infravermelho (UV/IR) e infravermelho multiespectro (MSIR).

Figura 01: Detector de chama MSIR.



Fonte: DET-TRONICS

2.4.1.2. Detectores de Fumaça

Um detector de fumaça detecta as partículas produzidas pela combustão usando uma variedade de tecnologias. Estes podem incluir ionização, câmara de nuvem, obscurecimento de luz fotoelétrica, dispersão de luz fotoelétrica e detecção de imagem de vídeo. Para serem eficazes, os detectores de fumaça devem ser localizados e espaçados em antecipação ao fluxo de ar de fontes que possam apresentar riscos de incêndio, mas sem resultar em alarmes injustificados. A NFPA 72 descreve o requisito da seguinte forma: A localização dos detectores de fumaça deve ser baseada em uma avaliação das potenciais fontes ambientais de fumaça, umidade ou poeira e influências elétricas ou mecânicas, para minimizar alarmes incômodos.

Os detectores de fogo devem atender às seguintes condições:

- Permitir o restabelecimento das suas condições normais de operação após serem acionados, sem necessidade de reposição de qualquer componente;
- Os detectores de fumaça e temperatura devem ser do tipo endereçáveis, produzir indicação visual e sonora no sistema de alarme no local e no painel de controle da área envolvida, para mostrar quais foram os acionados e de tal forma a permitir a identificação do local ou zona afetada; a indicação visual deve permanecer até que o sistema tenha sido restabelecido manualmente;

- O detector de chama deve produzir a indicação visual e sonora no sistema de alarme no local e no painel de controle da área envolvida, para mostrar em tela gráfica quais foram os acionados e de tal forma a permitir a identificação do local ou zona afetada e do TAG do detector; a indicação visual deve permanecer até que o sistema tenha sido restabelecido manualmente.

Os detectores e alarmes de fogo devem ser alocados e instalados conforme recomendações dos fabricantes e conforme as normas ABNT NBR 17240, ABNT NBR ISO 7240-1 (e partes listadas no seu texto) e NFPA 72.

O projeto do sistema de detecção e alarme de fogo deve considerar o posicionamento dos detectores de acordo com os fatores que possam afetar sua sensibilidade e funcionamento.

A Norma Brasileira ABNT NBR 17240 recomenda que 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 e chama;
- Materiais existentes nas áreas protegidas;
- Forma e altura do teto (Geometria da área de instalação);
- Ventilação do ambiente;
- Temperatura típica e máxima de aplicação;
- Entre outras características de cada instalação, conforme requisitos técnicos dos equipamentos.
- Presença de obstáculos físicos ou fontes de interferência eletromagnética que dificultem a detecção.

2.4.2. Detectores de Gás

Os detectores de gases devem permitir monitorar continuamente as áreas indicadas conforme especificado em projeto e/ou estudo de análise de risco.

Além do monitoramento de vazamentos de gases e gases liquefeitos sob pressão ou resfriados, o sistema pode ser aplicado para o monitoramento de vapores de líquidos altamente voláteis capazes de gerar nuvens detectáveis.

Os detectores de gases inflamáveis e tóxicos devem fornecer sinais correspondentes aos níveis de concentração de gás detectados na área monitorada.

A quantidade, seleção e a localização dos detectores de gases inflamáveis e tóxicos devem ser definidas considerando o resultado de estudos quantitativos ou qualitativos de dispersão de gases.

Na alocação dos detectores de gases inflamáveis e tóxicos, em áreas abertas e fechadas, devem ser levados em conta os seguintes fatores:

- Densidade, relativa ao ar, dos gases inflamáveis potencialmente presentes;
- Localização das fontes prováveis de vazamento;
- Linhas de fluxo de ventilação natural ou mecânica;
- Zonas onde possam ocorrer o acúmulo de gases;
- Frequência de ocorrência de vazamentos;
- Taxas de vazamento e condições de processo;
- Proteção contra danos mecânicos;
- Proteção contra agentes inibidores da detecção;
- Interferências ou obstáculos que prejudiquem a detecção.

Um desafio relacionado à detecção de gás é que a origem dos vazamentos de gás muitas vezes pode ser difícil de prever. A detecção de vazamento de gás também pode ser um desafio devido a condições ambientais variadas, como vento e chuva, e fatores de aplicação, como máquinas e tubulações. Esses fatores ambientais e situacionais, bem como as muitas fontes potenciais de vazamentos de gás, desempenham um papel importante na seleção do tipo de tecnologia de detecção de gás combustível e tóxico a ser usado e no posicionamento dos dispositivos. Combinar várias tecnologias e colocá-las em locais que maximizem sua eficácia pode mitigar o impacto de um perigo.

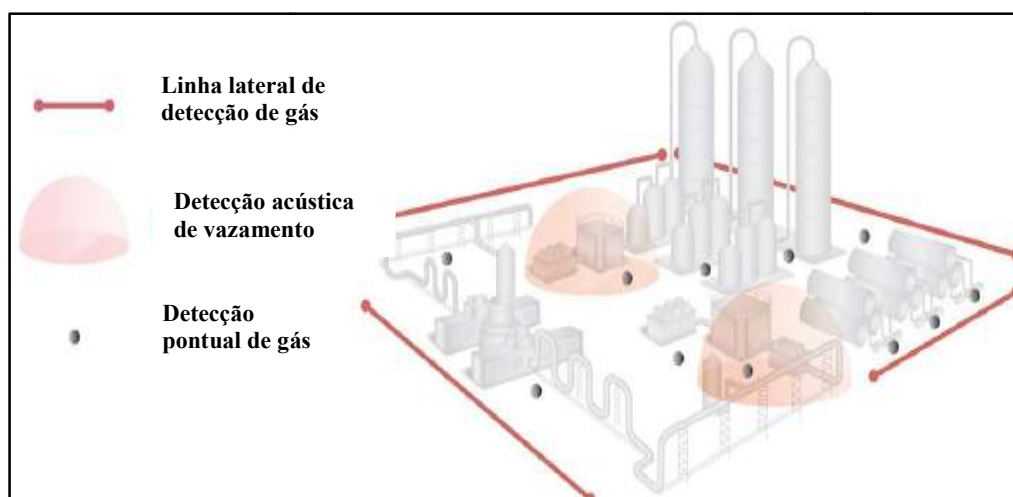
A NFPA 72 descreve um detector de gás como “Um dispositivo que detecta a presença de uma concentração de gás especificada”. Os detectores são destinados a

tipos específicos de gás ou vapor e devem ser escolhidos conforme especificado na NFPA 72.

Detecção de vazamento de gás pode incluir as tecnologias a seguir, conforme **Figura 02:**

- **Detecção acústica de vazamentos de gás:** Sensores ultrassônicos os quais detectam vazamentos com base em padrões de ruído;
- **Detecção de infravermelho ao longo de uma linha de visão:** Detecta gás ao longo de um caminho fornecendo uma grande área de detecção;
- **Detecção pontual** de um gás combustível ou tóxico por tecnologias eletroquímicas, catalíticas ou infravermelhas: Os gases entram em contato com o detector e fazendo com que o detector seja ativado.

Figura 02: Disposição dos diferentes tipos de detectores de gás em uma planta.



Fonte: HOSCH, M., PATE, S., NDJER, M (2019).

Tabela 2: Seleção dos tipos de detectores de gás para FPSO.

Área de Instalação	Tipo de Detector	Lógica de votação para ESD
-Áreas de Processo e Áreas Perigosas; - Áreas de Cabeça dos Poços; - Área do turret; - Convés Principal, área sobre os tanques de carga; - Áreas de conexões de <i>risers</i> ; -Salas contendo equipamentos que manuseiem hidrocarbonetos, tais como: Casa de Bombas de Carga.	CH ₄ Pontual OUc CH ₄ Pontual e/ou Visada	2ooN (N ≥ 3)

Tabela 2: Seleção dos tipos de detectores de gás para FPSO.
(continuação)

Área de Instalação	Tipo de Detector	Lógica de votação para ESD
- Tanques de Expansão do Sistema de Água de Resfriamento; - Tanques de reposição de água do sistema de água de aquecimento.	CH ₄ Pontual	ESD Não requerido
- Áreas de Processo e Áreas Perigosas; - Áreas de Cabeça dos Poços; - Áreas de conexões de <i>risers</i>; - Área do turret; - Áreas que contenham equipamentos ou tubulação com estagnação prolongada de água produzida.	H ₂ S	2ooN (N ≥ 3)
Sala de Bateria	H ₂	ESD Não requerido
- Áreas de Processo e Áreas Perigosas; - Áreas de Cabeça dos Poços; - Áreas de conexões de <i>risers</i>; - Área do turret; - Área de Processo contendo equipamentos ou tubulação com elevada concentração de CO₂.	CO ₂	2ooN (N ≥ 3)

Fonte: Diretriz de Engenharia de Segurança (Petrobras, 2018)

Figura 03: Detector de gás hidrocarboneto IR linha de visão



Fonte: DET-TRONICS

2.5. Falhas comuns de detectores

Os sistemas instrumentados de segurança (SIS) são usados na indústria de petróleo e gás para detectar o início de eventos perigosos e/ou mitigar suas consequências para os seres humanos, ativos materiais e meio ambiente. Um SIS

geralmente consiste em um ou mais elementos de entrada (por exemplo, sensores, transmissores), um ou mais solucionadores lógicos (por exemplo, controladores lógicos programáveis (PLC), sistemas lógicos de relé) e um ou mais elementos finais (por exemplo, válvulas de segurança, disjuntores) (LUNDTEIGEN, RAUSAND, 2007).

As falhas de causa comum (CCF) são uma ameaça à confiabilidade do SIS e podem levar a falhas simultâneas de componentes redundantes e barreiras de segurança. A IEC 61511 (2003) define um CCF como uma falha resultante de um ou mais eventos, causando falhas de dois ou mais canais separados em um sistema de múltiplos canais, levando a uma falha do sistema (LUNDTEIGEN, RAUSAND, 2007).

Causas de CCFs potenciais podem ser introduzidas no projeto, bem como na fase operacional. Na fase de projeto, as causas do CCF podem ser resultado de compreensão inadequada dos mecanismos e respostas de falha, seleção inadequada de componentes de hardware e assim por diante. Na fase operacional, as causas do CCF podem, por exemplo, ser introduzidas devido a testes inadequados, erros humanos durante a operação e manutenção e tensões ambientais fora do envelope de projeto (LUNDTEIGEN, RAUSAND, 2007).

O teste de funcionalidade e a inspeção são atividades essenciais para um SIS operando no modo de baixa demanda. Baixa demanda significa que o SIS enfrenta poucas demandas, normalmente menos de uma vez por ano. Testes de funcionalidade e inspeção influenciam a ocorrência de CCFs na fase operacional porque: (i) os principais tipos de CCFs podem ser identificados e corrigidos por meio de testes eficientes e procedimentos de inspeção, e (ii) procedimentos inadequados e erros humanos podem causar falhas simultâneas de vários componentes (LUNDTEIGEN, RAUSAND, 2007).

Testes de diagnóstico, testes de funcionalidade e inspeções visuais são meios importantes para verificar se o SIS é capaz de desempenhar suas funções de segurança e revelar quaisquer falhas que possam impedir o funcionamento do SIS sob demanda. Falhas que podem impedir que o SIS funcione sob demanda são chamadas de falhas perigosas pela IEC 61508 (1998) e IEC 61511 (2003) (LUNDTEIGEN, RAUSAND, 2007).

O teste de diagnóstico é um meio on-line para detectar desvios, degradações e discrepâncias e geralmente é realizado por software e hardware dedicados, implementados inerentemente nos componentes ou adicionados à configuração do SIS

(por exemplo, leitura de sinais de status dos elementos para comparação com os sinais de saída definidos pelo PLC). As falhas detectadas pelo teste de diagnóstico são chamadas de falhas detectadas perigosas na IEC 61511 (2003) (LUNDTEIGEN, RAUSAND, 2007).

O teste de função e as inspeções visuais são meios off-line para detectar falhas do SIS e são executados em intervalos regulares. O objetivo do teste de função é confirmar a funcionalidade correta e revelar falhas não detectadas que possam impedir o funcionamento do SIS sob demanda. A inspeção visual procura deterioração observável e modificações não autorizadas. Falhas reveladas por testes de função e inspeção são chamadas de falhas não detectadas perigosas na IEC 61511 (2003). O intervalo entre testes de funcionalidade (ou inspeções) tem influência direta na probabilidade de falha do SIF sob demanda (LUNDTEIGEN, RAUSAND, 2007).

O teste de função e a inspeção geralmente compreendem as seis tarefas a seguir (LUNDTEIGEN, RAUSAND, 2007):

- **Agendamento:** Atualmente os testes de função e inspeções são agendados automaticamente pelo sistema de gerenciamento de manutenção. Em um horário predefinido, o teste de função ou inspeção é enviado como um pacote de trabalho que inclui o procedimento de teste ou inspeção.
- **Preparação, execução e restauração:**

(a) **Preparação:** Antes da execução do teste ou inspeção, é necessário fazer alguns preparativos; obter autorizações de trabalho, encontrar a documentação necessária, coordenar com outras disciplinas envolvidas e, em alguns casos, realizar uma análise de segurança do trabalho. A análise de segurança do trabalho é comumente usada na indústria de petróleo e gás para se preparar para atividades de trabalho críticas e complexas com um risco potencialmente alto para pessoas, equipamentos ou meio ambiente. Um teste de função ou inspeção nem sempre requer uma análise de segurança do trabalho. Isso depende da complexidade do trabalho e da quantidade total de atividades em andamento na mesma área.

(b) **Execução:** As etapas prescritas no procedimento de teste ou inspeção são executadas, incluindo a configuração de *overrides* e inibições necessárias.

(c) **Restauração:** Após a conclusão do teste ou inspeção, os componentes afetados são recolocados em operação de forma segura e adequada. Isso pode envolver a abertura/fechamento de válvulas de isolamento, seguindo procedimentos de intertravamento, reajustando solenóides e válvulas e removendo inibições e *overrides*.

- **Relatório de falhas:** Desvios e falhas são relatados por meio do sistema de gerenciamento de manutenção pelo pessoal que executa o teste de função ou inspeção. Falhas e desvios podem ser registrados como texto livre, como valores numéricos (por exemplo, leituras de pressão) ou usando sistemas de classificação predefinidos de causas de falha, método de detecção e efeitos de falha.
- **Análise de falha:** O objetivo da análise de falha é avaliar o desempenho do SIS e comparar com o desempenho alvo (requisitos SIL). O desempenho do SIS na fase operacional geralmente é derivado do número de falhas perigosas detectadas durante um teste de função, inspeção e demandas reais. Para garantir que a qualidade dos dados registrados seja adequada, muitas vezes é necessário reavaliar a classificação de falha inicial e revisar as descrições de texto livre.
- **Implementação:** É necessário preparar e implementar meios corretivos relacionados com as falhas registradas. Espera-se que as falhas detectadas por testes de diagnóstico, testes de função e inspeção sejam corrigidas imediatamente para reduzir a indisponibilidade do SIF. Nos casos em que não seja possível corrigir imediatamente as falhas, devem ser implementadas medidas compensatórias.
- **Validação e melhorias contínuas:** Em intervalos regulares, é necessário revisar as práticas e procedimentos de trabalho atuais e analisar como eles cumprem o objetivo geral do acompanhamento do SIS, que é manter o desempenho do SIS durante a operação e manutenção. Pode ser relevante revisar a extensão dos testes atrasados, a adequação do sistema de classificação de falhas e os procedimentos de relatórios de falhas, o desempenho do SIF versus as metas do SIL, a qualidade e o escopo da execução do teste de prova (HSE, 2002). Quaisquer desvios ou deficiências devem ser capturados e usados para melhorar o acompanhamento do SIS.

HAUGE *et al.* (2015) apresentam resultados selecionados de um projeto de pesquisa realizado na indústria norueguesa de petróleo e gás para coletar e analisar falhas relatadas. Os resultados são baseados na análise de cerca de 12.000 notificações de manutenção de seis diferentes Instalações petrolíferas *onshore* e *offshore*.

Em relação aos detectores de gás, estes devem detectar a presença de gás e iniciar um alarme na(s) concentração(ões) especificada(s). Além do gás hidrocarboneto, alguns detectores de H₂S, CO₂ e O₂ também estão incluídos na amostra. A amostra de detectores de gás incluiu detector pontual IR de gás e detectores de gás de linha de visão IR. No total, 59 falhas foram definidas como falhas perigosas não detectadas para detectores pontuais de gás e 15 falhas foram definidas como falhas perigosas não detectadas para detectores de linha de visão de gás das seis revisões operacionais. Os cinco eventos de CCFs registrados envolveram as seguintes falhas (HAUGE *et al.*, 2015):

- Dez falhas perigosas não detectadas (medição incorreta) foram causadas por um design inadequado de um tipo de detector de gás pontual, de modo que todos os detectores tiveram que ser substituídos.
- Quatro falhas perigosas não detectadas (medição incorreta) foram todas detectadas ao mesmo tempo por observações aleatórias da multidão (sem alarme). Causa desconhecida.
- Dois detectores de gás pontuais com um design antigo (localizados na mesma área) foram expostos a um ataque corrosivo (modo de falha desconhecido, mas com falha presumida).
- Uma falha perigosa não detectada (e possível até cerca de dez falhas perigosas não detectadas adicionais) foi devido à calibração incorreta causada por falha no procedimento de teste.
- Uma falha perigosa não detectada (afetando um número desconhecido de detectores de gás de linha) foi devido a um tipo incorreto de cabeamento (não intrinsecamente seguro) e dano físico deste cabo.

As CCFs potenciais incluíam detectores que não funcionavam devido a influências ambientais que causavam manchas sujas, filtro denso devido a procedimentos de manutenção inadequados, projeto inadequado do espelho do detector, filtros entupidos e calibração errônea (HAUGE *et al.*, 2015).

A partir do histórico de falhas, vemos que falhas relacionadas à calibração incorreta e medições erradas são causas importantes. Além disso, as propriedades relacionadas ao projeto, incluindo localização e influências ambientais, parecem dar contribuições significativas. A distribuição entre as três categorias de CCF foi estimado, com base nos eventos completos e potenciais de CCF, consulte a **Tabela 3**. Observou-se que alguns eventos de CCF têm mais de uma única causa e, para várias falhas perigosas não detectadas, a causa subjacente da falha era desconhecida, portanto, algumas considerações subjetivas tiveram que ser feitas (HAUGE *et al.*, 2015).

Tabela 3: Distribuição de categorias CCF para detectores de gás.

Categorias CCF	Distribuição (%)
Propriedades de Projeto	35
Controle do Ambiente (interno e externo)	30
Operação e Manutenção	35

Fonte: HAUGE *et al.*, 2015

3. METODOLOGIA

O objetivo geral deste trabalho é apresentar uma abordagem para assegurar a confiabilidade e disponibilidade de Sistemas de Detecção de Fogo e Gás em Instalações *Offshore*.

A metodologia adotada para atendimento a este objetivo iniciou-se com reconhecimento de normas técnicas, boas de práticas de engenharia, diplomas legais e requisitos regulatórios aplicáveis a estes sistemas ao longo do seu ciclo de vida.

Paralelamente, foram colecionadas informações relativas aos principais modos de falhas e causas relacionados a estes sistemas.

A partir de modelos de avaliação da conformidade e em particular a Nota Técnica da ANP nº 4/2022/SSM-CSO/SSM/ANP-RJ, a qual indica uma metodologia para realização de autodiagnóstico de Barreiras de Segurança, objetivando a identificação de desvios e implementação de ações corretivas, preventivamente às ações de fiscalização, foi desenvolvido uma lista de Verificação para diagnóstico desta barreira observando-se as Práticas de Gestão relacionadas a: Projeto, Construção e Instalação, Elementos Críticos de Segurança Operacional, Análise de Riscos, Integridade Mecânica, e Gerenciamento de Mudança.

3.1. Levantamento e modelo da Lista de Verificação

Foi selecionada a norma ISO 17776: 2016 *Petroleum and natural gas industries - Offshore production installations - Major accident hazard management during the design of new installations* para coleccionar as informações relativas à descrição do Sistema de Detecção de Fogo e Gás, a fim que os critérios de desempenho esperados para o sistema sejam contemplados nas listas de verificação a serem desenvolvidas.

Além disso, também foi considerada a norma ABNT NBR 17240 - Sistemas de detecção e alarme de incêndio – Projeto, instalação, comissionamento e manutenção de sistemas de detecção e alarme de incêndio – Requisitos. Nesta norma encontramos diretrizes para verificação de conformidade na instalação do sistema.

Adicionalmente, também foi contemplada no arcabouço teórico as recomendações da norma NFPA 72 –*National Fire Alarm and Signaling Code*, incluindo seu modelo de lista de verificação – “*Routine Inspection Checklist*”.

Desta forma, foram abrangidos diferentes pontos de vista à cerca da proposta de análise, além da contribuição de especialistas, a fim de sedimentar o modelo a ser apresentado nesta proposta de trabalho.

3.2. Situação Hipotética para Aplicação da Lista de Verificação

A fim de avaliar o Sistema de Detecção de Fogo e Gás, selecionou-se inicialmente uma Unidade de Produção Genérica XPTO e em seguida, identificou-se a quantidade de eventos gerados no ano de 2022, classificando-os por tipo de atuação e área de maior sensibilização, tendo como base painel de monitoramento de detectores construído conforme a descrição da Unidade Marítima, a filosofia de projeto de Fogo e Gás, e estudos quantitativos de incêndio e dispersão de gás.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Apresentação da Lista de Verificação

Foi elaborada uma lista de verificação (boa prática de engenharia) com questões consideradas relevantes em diferentes tópicos como: Projeto, Controle Ambiental, Operação e Manutenção, Preparação, Execução e Restauração do Teste e Validação das Causas Comuns de Falhas, com a finalidade de avaliar a integridade do Sistema de

Detecção de Fogo e Gás e identificar as vulnerabilidades no gerenciamento destas barreiras, e assim apontar medidas específicas para reduzir a probabilidade de falhas.

No ANEXO 1 encontra-se a lista de verificação que deverá ser usada para avaliar as condições e experiências relevantes para uma instalação marítima específica, no qual será possível detectar deficiências no projeto/certificação de componentes ou verificações inadequadas e testes em diferentes fases, como instalação, comissionamento, operação e testes de pré-partida.

4.2. Seleção do Módulo da XPTO para Aplicação da Lista de Verificação

A Unidade Marítima XPTO é dividida por módulos, que possuem os detectores especificados conforme a **Tabela 4**.

A XPTO possui 753 detectores instalados ao longo da embarcação, nos quais 215 (29%) são detectores de fogo (Chama e Fumaça) e 538 (71%) são detectores de gás, divididos em: gás hidrocarboneto inflamável- Metano (CH₄), gás tóxico – Sulfeto de hidrogênio (H₂S), gás Hidrogênio (H₂) e Dióxido de Carbono (CO₂).

Tabela 4: Distribuição dos Tipos e Quantidade de Detectores da XPTO por módulo.

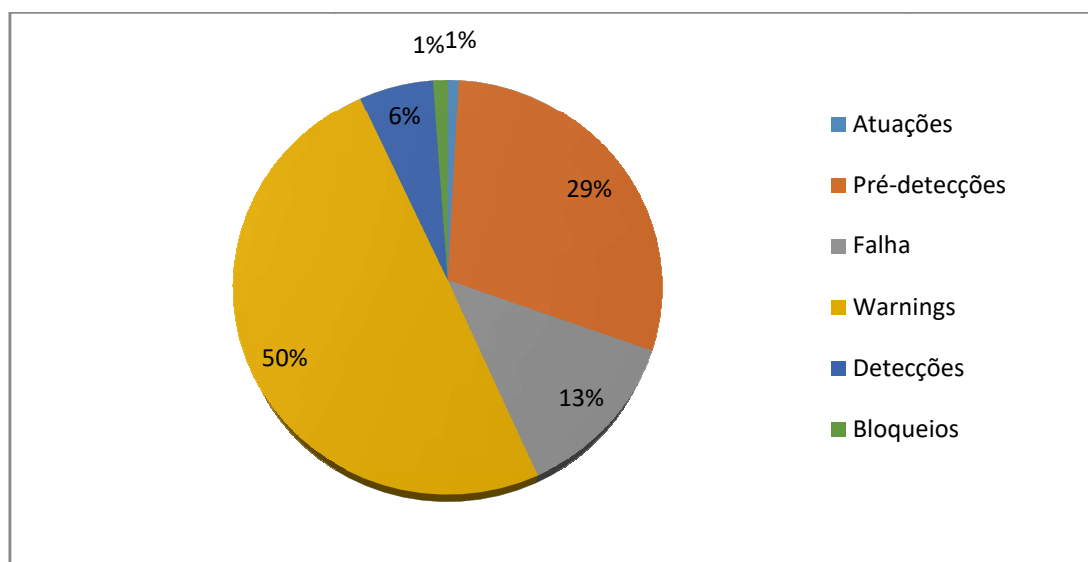
Módulo	Sistema	Tipo de detectores	Número de detectores
M01	Sistema de <i>Flare</i>	Detecção de CH ₄	19
		Detecção de H ₂ S	8
M02	Compressão de CO ₂	Detecção de CH ₄	13
		Detecção de CO ₂	48
M03	Compressão de Gás de Exportação	Detecção de CH ₄	33
		Detecção de H ₂ S	4
		Detecção de Chama	8
M04	Remoção de CO ₂	Detecção de CO ₂	35
		Detecção de CH ₄	23
		Detecção de Chama	12
M05	Sistema de Compressão Principal de Gás e VRU	Detecção de CH ₄	47
		Detecção de H ₂ S	34
		Detecção de Chama	11
M06	Desidratação de Gás	Detecção de CH ₄	47
		Detecção de H ₂ S	20
		Detecção de Chama	11
M07	Injeção de Gás	Detecção de CH ₄	22
		Detecção de Chama	7
M08	Sistema de Remoção de H ₂ S	Detecção de CH ₄	22
		Detecção de H ₂ S	4
		Detecção de Chama	10
M09	Lançadores/Recebedores de PIG e <i>Manifold</i> de Produção e Injeção	Detecção de CH ₄	40
		Detecção de Chama	16

Tabela 4: Distribuição dos Tipos e Quantidade de Detectores da XPTO por módulo.
(Continuação)

Módulo	Sistema	Tipo de detectores	Número de detectores
M10	Processamento de óleo e Tratamento de água produzida	Detecção de CH ₄	23
		Detecção de Chama	19
M12	Geração de Energia	Detecção de CH ₄	7
		Detecção de Chama	3
M13	Sala de Baterias	Detecção de CH ₄	15
		Detecção de H ₂ S	6
M14	Unidade de Injeção Química e Armazenamento de Produtos	Detecção de Chama	9
M15	Utilidades	Detecção de CH ₄	4
M16	Laydown Area – Unidade Química	Detecção de Chama	3
M17	Sala de Automação e Painéis elétricos/HVAC/Sala de Baterias	Detecção de Fumaça	40
		Detecção de CH ₄	9
		Detecção de H ₂	4
		Detecção de H ₂ S	9
M22	Laboratório	Detecção de CH ₄	15
		Detecção de H ₂ S	15
N1	Riser Balcony	Detecção de CH ₄	8
		Detecção de Chama	63

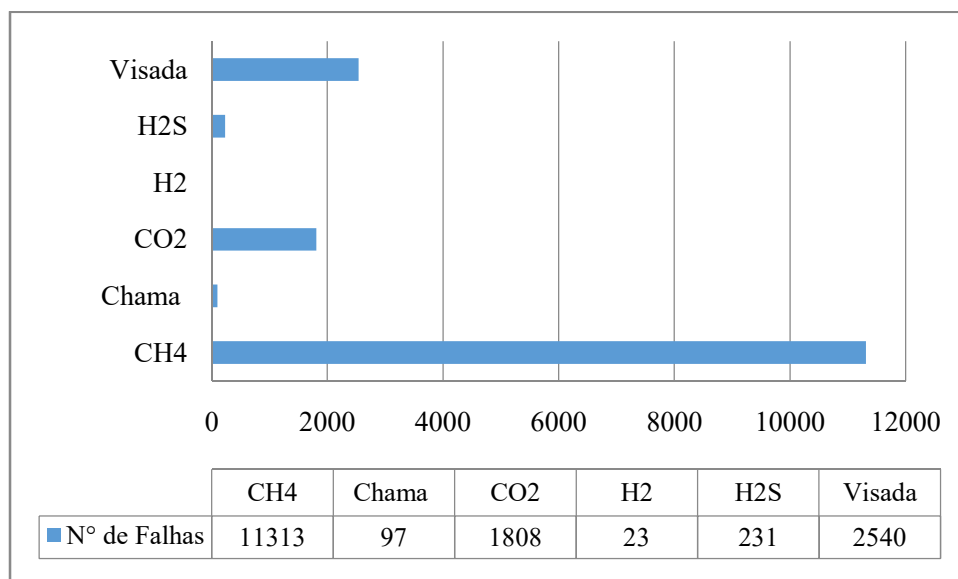
A **Figura 4** apresenta os tipos e percentual dos eventos possíveis dos detectores da XPTO no ano de 2022, indicando que 13% estão relacionados à falha dos mesmos.

Figura 04: Tipos de Eventos gerados em 2022.



A **Figura 5** apresenta a quantidade de falhas por tipo de detector no ano de 2022, no qual detectores de CH₄ (gás metano) representam 71%, detectores de linha de visão 16%, detectores de CO₂ (dióxido de carbono) 11% e os demais 2% detectores de chama e H₂S.

Figura 5: Eventos de Falha por Tipo Detector em 2022.



O módulo que evidenciou maior número de falhas foi módulo N1 (*riser balcony*) registrando 57% do total das falhas, seguido pelos módulos: HULL com 16% e M-09 (Lançadores/Recebedores de PIG e *Manifold* de Produção e Injeção) com 10%, os demais módulos apresentaram falhas abaixo de 5%. Portanto o *riser balcony* é o módulo selecionado para aplicação da lista de verificação.

Entretanto, não foi possível a aplicação da lista de verificação visto que não possuímos informações suficientes para a avaliação, como acesso a documentação de projeto, planos de manutenção e inspeção, sistema de gerenciamento e critério de desempenho dos elementos críticos de segurança operacional.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Tendo em vista o objetivo geral deste trabalho em apresentar uma abordagem para assegurar a confiabilidade e disponibilidade de Sistemas de Detecção de Fogo e Gás em Instalação *Offshore*, a partir das discussões dos resultados foi possível verificar

A Lista de Verificação proposta abarcou aspectos a nível ambiental, projeto, instalação, comissionamento e operação dos elementos críticos de segurança que a literatura aponta como potenciais causas comuns de falha em sistemas críticos.

A aplicação da lista de verificação permite que a organização identifique a situação e classificação do Sistema de Detecção de Fogo e Gás, inferindo se essas barreiras se encontram disponíveis, degradadas ou contingenciadas.

Foi possível concluir também que a aplicação da lista de verificação demanda consulta a um conjunto de documentos e informações relativas à Unidade e gestão da integridade destes ativos somados a qualificação e experiência da equipe de avaliadores que são determinantes para obtenção dos resultados pretendidos para a avaliação dos Sistemas Críticos de Segurança.

Como proposta de melhoria e trabalhos futuros, merecem destaque os seguintes pontos:

- Realização de testes de aplicação da lista de verificação a fim de comprovar a maturidade dos requisitos apresentados;
- Incluir parâmetros de referência, onde possível, em cada requisito da lista de verificação a fim de orientar a equipe de auditoria de barreira;
- Estender o desenvolvimento de novas listas de verificação para todos os demais elementos críticos de Segurança Operacional da Unidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP nº 43/2007**. Acesso em: 02/11/2022

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Nota Técnica nº4/2022**. Acesso em: 10/01/2023

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Consulta e Audiência Pública ANP nº 028/2022**. Acesso em: 02/01/2023

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Relatório Anual de Segurança Operacional Das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural**. Acesso em: 02/11/2022

AMERICAN NATIONAL STANDARD IEC 61511-3. **Functional Safety - Instrumented Systems For The Process Industry Part 3 Guidance For The Determination Of The Required Safety Integrity Levels**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17240 - Sistemas de detecção e alarme de incêndio – Projeto, instalação, comissionamento e manutenção de sistemas de detecção e alarme de incêndio – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR ISO 7240 - Sistemas de detecção e alarme de incêndio Parte 1: Generalidades e Definições**. Rio de Janeiro, 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Relatório Anual de Segurança Operacional**. Disponível em <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/relatorios-anuais-de-seguranca-operacional>. Acesso em 16/11/2022

CCPS, PETROBRAS (2014). **Diretrizes para segurança de processo baseada em risco**. 1. ed. [s.l.] Editora Interciência Ltda. p. 872.

CCPS (2019). *Guidelines for Investigating Process Safety Incidents*, 3rd Edition. Wiley, IBSN: 978-1-119-52907-1, p.480.

CCPS (2019). **Diretrizes Para Gerenciamento de Mudança Para Segurança de Processo**, Editora Interciência; 1ª edição, p. 194.

CCPS (2021). **Diretrizes Para Elaborar Procedimentos Eficazes de Operação e Manutenção**. Editora Interciência; 1ª edição, p. 154.

CCPS (2021). **Diretrizes Para Definição de Requisitos de Competência em Segurança de Processo**. Editora Interciência; 1ª edição, p. 76.

CCPS (2022). *Process Safety for Engineers: An Introduction*. Wiley-Aiche; Segunda Edição, p. 560.

CROWL, D. A.; LOUVAR, J. F. (2014). **Segurança de processos químicos: Fundamentos com aplicações**. Interciência, p. 680.

PETROBRAS (2018). **Diretriz de Engenharia de Segurança**, DR-ENGP-M-I-1.3 (rev. 4).

CSB: *U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board*. Disponível em: <https://www.csb.gov>. Acesso em 09/12/2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE), Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 | 2019. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/Sumario%20PDE%202029.pdf>>. Acesso em 18/11/2022.

FLYNN, A. M.; THEODORE, L. (2001). *Health, Safety, and Accident Management in the Chemical Process Industries: A Complete Compressed Domain Approach*. CRC Press, 1ST edition. ISBN: 978-1-4822-7109-6, p. 677.

FYFFE, L., KRAHN, S., CLARKE, J., KOSSON, D., HUTTON, J. (2016). *A preliminary analysis of Key Issues in chemical industry accident reports*. *Safety Science*, 82, 368–373. doi:10.1016/j.ssci.2015.10.008.

HOSCH, M., PATE, S., NDJER, M. *Meeting NFPA standards for flame, smoke and gas*. *Gulf Fire magazine*: January 2019.

HSE (2002). *Principles for proof testing of safety instrumented systems in the chemical industry (prepared by ABB Ltd for the HSE)*. Technical Report 428/2002, Health and Safety Executive.

HYATT, N. (2006). **Incident Investigation and Accident Prevention in the Process and Allied Industries**, CRC Press, 1ST edition. ISBN: 978-1-4398-2244-9, p. 541.

ISO 17776: 2016 Petroleum and natural gas industries - Offshore production installations - Major accident hazard management during the design of new installations

KLETZ, TRAVOR A. **O que Houve de Errado? Casos de Desastres em Plantas de Processo e Como Eles Poderiam ter Sido Evitados**, Interciência, 2014.1ª edição. ISBN: 978-8571932999, p. 648.

MARSH (2022). *100 largest losses in the hydrocarbon industry 28th Edition*. *U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board | CSB*.

NATIONAL FIRE PROTECTIONS ASSOCIATION. ALARM AND SIGNALING CODE (2022). *NFPA 72 national fire alarm and signaling code*. Quincy, 2022.

RAUSAND, M., LUNDTEIGEN, A. M. *Common cause failures in safety instrumented systems on oil and gas installations: Implementing defense measures through function testing*. *Loss Prevention in the Process Industries*, v. 151, p. 34-35 julho 2016.

RAUSAND, M., LUNDTEIGEN, A. M. *Common cause failures in safety instrumented systems on oil and gas installations: Implementing defense measures through function testing*. *Loss Prevention in the Process Industries*, v. 20, p. 218-229 maio 2007.

HAUGE, S., HOKSTAD, P. *et al.* *Common cause failures in safety-instrumented systems: Using field experience from the petroleum industry*. *Loss Prevention in the Process Industries*, v. 151, p. 34-45 julho 2016.

ANEXO 1: LISTA DE VERIFICAÇÃO - SISTEMA DE DETECÇÃO DE FOGO E GÁS

DATA:
UNIDADE MARÍTIMA:
ÁREA:
AUDITOR:

SISTEMA: FOGO GÁS

PROJETO

		SIM	NÃO	N/A
1	Todos os detectores do mesmo grupo de votação têm a mesma especificação de modelo e fabricante?			
2	Os detectores estão distribuídos conforme recomendações do estudo de dispersão de gases da Unidade?			
3	Os documentos de projeto estão em conformidade com normas nacionais e internacionais, padrões e boas práticas da indústria de óleo e gás?			
4	A construção e o comissionamento do Sistema foram realizados em conformidade com o preconizado em projeto ?			
5	As mudanças no projeto estão sendo adequadamente gerenciadas através de um processo formal de gestão de mudanças?			

CONTROLE AMBIENTAL

		SIM	NÃO	N/A
6	Os procedimentos específicos para controle de sujeira nas lentes foram implementados, incluindo procedimentos para limpeza dos sensores?			
7	Existem procedimentos de inspeção e critérios de aceitação associados para controlar e prevenir a corrosão?			
8	Foram implementadas medidas físicas para controle do ambiente corrosivo, como escolha de material, inibidor de corrosão, etc.?			

OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

		SIM	NÃO	N/A
9	O sistema e seus componentes estão cadastrados no Sistema de Manutenção através de identificação única?			
10	O sistema e seus componentes foram classificados como críticos?			
11	Foram estabelecidos e implementados planos e procedimentos de Inspeção, Manutenção e Testes para o Sistema alinhado a Manuais de Fabricante, Normas e Boas Práticas de Engenharia?			
12	As instruções de inspeção, manutenção e testes são claras e concisas e estão disponíveis para todo o pessoal que faz uso?			
13	As tarefas integrantes dos Planos de Inspeção, Manutenção e Testes estão em conformidade normas, padrões e manuais e essas são suficientes para garantir a funcionalidade da barreira?			
14	Os registros de inspeção, manutenção e testes são mantidos e demonstram que todas as atividades planejadas foram executadas?			
15	Os registros demonstram que os resultados de Inspeção, Manutenção e Testes atenderam os critérios de aceitação?			
16	Os alarmes visuais e audíveis definidos na matriz de causa e efeito estão no painel da Sala de Controle Remota?			
17	A ativação do alarme está conforme os níveis baixo e alto estabelecidos na matriz de causa e efeito e na filosofia de segurança?			
18	Todo o sistema de detecção de fogo e gás usado para ativação automática do combate ao incêndio foi testada e atenderam os critérios de aceitação?			
19	A comutação da fonte de alimentação de emergência foi testada e atenderam os critérios de aceitação?			
20	As equipes de manutenção e instrumentação são competentes com base em formação, experiência, habilidades e receberam treinamento específico com relação à compreensão da funcionalidade dos detectores, modos de falha críticos e registro de notificações de manutenção para fornecer uma boa descrição de, por exemplo, causa da falha, método de detecção e modos de falha?			
21	O monitoramento e a avaliação dos resultados de Inspeção, Manutenção e Testes são realizados por níveis de supervisão adequados?			
22	São abertas ordens de manutenção corretivas em decorrência de falhas identificadas (Plano de Manutenção ou durante a operação)?			
23	As notificações de manutenção são realizadas regularmente para revelar falhas recorrentes nos detectores, para comparar os resultados de todas os detectores relevantes em toda a instalação e para iniciar e executar a análise da causa raiz para identificar medidas para remover essas causas de falha?			
24	Existem rotinas/procedimentos em vigor para revisar periodicamente e, se necessário, ajustar a frequência dos testes dos detectores a partir do histórico de falhas registradas?			
25	As falhas são investigadas a fim de identificar a causa raiz e ações foram implementadas para evitar a recorrência?			
26	Na inspeção de campo foram observados que os detectores estão acessíveis e não foram encontrados desvios tais como obstrução, adulteração no último ano?			
27	Está estabelecida e implementada uma política de sobressalentes ao risco dos cenários relacionados à barreira, como por exemplo, o tempo necessário para compra e disponibilização a bordo de uma nova barreira, em caso de necessidade de substituição?			
28	Os sobressalentes são armazenados em condições ambientais adequadas?			
29	Os padrões utilizados calibração dos instrumentos possuem rastreabilidade junto Rede Brasileira de Calibração ou possui sua base documentada conforme tecnologia definida pelo fabricante?			
30	Nos casos em que o Sistema ou seus componentes se encontram degradados ou fora de operação, são definidas medidas de contingência para a incapacidade de um elemento crítico de realizar sua função de segurança conforme estabelecido em projeto, levando em consideração, inclusive, sua confiabilidade?			
31	As ações de contingenciamento estão sendo implementadas em prazos condizentes com o risco e a complexidade?			

PREPARAÇÃO PARA O TESTE

		SIM	NÃO	N/A
32	Os possíveis erros humanos durante a execução e restauração dos testes de funcionalidade e inspeção foram identificados e discutidos?			
33	Foram identificadas e implementadas medidas compensatórias para evitar erros humanos?			
34	O pessoal que executa o teste está familiarizado com as ferramentas de teste e calibração?			
35	Os instrumentos e dispositivos de calibração foram calibrados e estão dentro do período de validade?			
36	O procedimento descreve as etapas necessárias para restaurar o Sistema Instrumentado de Segurança (SIS) com segurança?			

EXECUÇÃO DO TESTE

		SIM	NÃO	N/A
37	Os componentes são operados dentro das condições ambientais e operacionais especificadas? (Por exemplo, dentro da faixa de temperatura ou pressão especificada, restrições de umidade, restrições de vibração, composição do fluxo e assim por diante.)			
38	Os componentes estão protegidos contra danos causados por atividades de trabalho próximas?			
39	As conexões de processo estão livres de entupimento e (se relevante) com traço térmico?			
40	Todos os componentes do Sistema Instrumentado de Segurança (SIS) de campo (que constituem a função de segurança que está sendo testada) estão identificados?			
41	Os componentes adicionais que são operados durante o teste de funcionalidade e inspeção do Sistema Instrumentado de Segurança (SIS) estão suficientemente identificados?			

RESTAURAÇÃO

		SIM	NÃO	N/A
42	A restauração física (por exemplo, válvulas de isolamento e by-passes) foi verificada por nível de supervisão adequado?			
43	Todas as suspensões de inibições e substituições foram verificadas e comunicadas?			
44	Quaisquer inibições, substituições ou by-passes remanescentes foram registrados e medidas de compensação identificadas e implementadas?			
45	A função de segurança foi verificada antes da partida?			

VALIDAÇÃO DAS CAUSAS COMUNS DE FALHAS (CCFs)

		SIM	NÃO	N/A
46	Os requisitos para a função de segurança são cobertos pelo teste de funcionalidade ou procedimento(s) de inspeção?			
47	Todas as disciplinas envolvidas no teste SIS (Inspeção, Manutenção, Operação) estão familiarizado com o conceito de CCFs?			
48	Os modos de falha perigosos não detectados são conhecidos e suficientemente atendidos no teste de funcionalidade e procedimentos de inspeção?			
49	As limitações do teste (em comparação com as condições reais de demanda) são conhecidas?			
50	Todos os canais redundantes da função de segurança são cobertos pelo teste de funcionalidade ou procedimentos de inspeção?			
51	As falhas encontradas durante o teste de funcionalidade e inspeção foram reconhecidas, analisadas e usadas para melhorar os procedimentos associados?			
52	As falhas detectadas em demandas reais são analisadas para verificar se elas teriam sido detectadas durante um teste de funcionalidade ou inspeção?			
53	As mudanças nas condições operacionais ou ambientais são capturadas e analisadas para modificações necessárias no SIS ou procedimentos relacionados?			
54	As ferramentas de calibração e teste são adequadas e mantidas de acordo com as recomendações do fornecedor?			
55	O pessoal que usa as ferramentas de calibração e teste está familiarizado com sua aplicação?			
56	As deficiências de procedimento são comunicadas aos responsáveis e acompanhadas?			
57	Os alarmes de diagnóstico são acompanhados dentro do tempo médio especificado para restauração?			
58	As CCFs foram identificadas e analisadas, e as ações corretivas foram implementadas para prevenir sua recorrência?			

OBSERVAÇÕES