

# ANÁLISE DE CAMADAS DE PROTEÇÃO (LOPA) APLICADA NO ACIDENTE DO FPSO CIDADE DE SÃO MATEUS

Diego Henrique Silva Souza<sup>1</sup>

Sérgio Maurício de Oliveira Santos<sup>2</sup>

Vitória Camila Paixão dos Santos<sup>3</sup>

Vanessa Limeira Azevedo Gomes<sup>4</sup>

Engenharia de Petróleo e Gás



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

## RESUMO

As ferramentas de análises de riscos, como as técnicas de Análise Preliminar de Riscos (APR) e a Análise de Camadas de Proteção (LOPA), podem ser capazes de prevenir, planejar e evitar acidentes que geram danos materiais e/ou pessoais. Neste trabalho, a LOPA, que é uma técnica semiquantitativa de risco é aplicada no acidente da plataforma FPSO Cidade de São Mateus. A partir da investigação dos relatórios da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), as causas e consequências desse acidente foram identificadas e as planilhas da LOPA foram elaboradas. Cinco cenários foram identificados a partir da análise preliminar de risco obtidos por Limeira e outros autores (2022). Como resultados, a análise da LOPA demonstrou que as camadas de proteção utilizadas no segundo cenário apresentaram eficiência muito maior que no primeiro e, ainda assim, não foi suficiente para evitar que o risco se tornasse um acidente. Também foi observado que dos cinco cenários, quatro deles não apresentaram camadas de proteção suficientes, e que medidas preventivas deveriam ser tomadas de imediato. Em apenas um cenário, ações de proteção adicionais poderiam ser opcionais.

## PALAVRAS-CHAVE

Segurança do Trabalho. Análise de Riscos. FPSO Cidade de São Mateus. APR.

## ABSTRACT

Risk analysis tools, such as Preliminary Risk Analysis (APR) and Layers of Protection Analysis (LOPA), may be able to prevent, plan and avoid accidents that generate material and/or personal damage. In this work, LOPA, which is a semi-quantitative risk technique, is applied in the accident of the FPSO Cidade de São Mateus platform. From the investigation of the ANP reports, the causes and consequences of this accident were identified and the LOPA spreadsheets were prepared. Five scenarios were identified from the preliminary risk analysis obtained by Limeira *et al.* (2022). As a result, the LOPA analysis showed that the protection layers used in the second scenario were much more efficient than in the first, and yet it was not enough to prevent the risk from becoming an accident. It was also observed that of the five scenarios, four of them did not present sufficient layers of protection, and that preventive measures should be taken immediately. In only one scenario, additional protective actions could be optional.

## KEYWORDS

Risk analysis. FPSO City of São Mateus. LOPA.

## 1 INTRODUÇÃO

O termo risco é originado do latim *risicu* ou *riscu*, que significa ousar, este pensamento era embasado em algo negativo ou retratando algo que poderia não dar certo, tendo atualmente uma visão diferenciada em relação ao conceito inicial devido, sobretudo, à inclusão da qualificação e quantificação dos riscos, bem como os possíveis ganhos ou perdas em um planejamento (SCOFANO *et al.* 2013).

Assim sendo, o risco passa a ser definido como algo que possui elementos incertos ao que está sendo esperado, influenciando os ambientes e podendo causar prejuízos, quando não são gerenciadas as suas possibilidades de ocorrência (SCOFANO *et al.*, 2013). Dessa forma é possível falar que o objetivo principal de se realizar análises de risco é avaliar a probabilidade de um evento adverso ocorrer em um setor. Em tal estudo é crucial que se identifique o que pode dar errado no cenário de uma empresa, governo, instituição, serviço. A verificação, capacitação, treinamento e manutenção são pilares cruciais para evitar acidente e manter a saúde e segurança do trabalho.

As técnicas de análise de riscos são utilizadas para organizar as informações sobre riscos com o objetivo de reduzir a imprevisibilidade dos acidentes. Alguns exemplos são: Análise Preliminar de Perigos/Riscos (APP/APR), Análise de Riscos e Operabilidade (HAZOP), Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA), Análise por Árvore de Falhas (AFF), Análise por Árvore de Eventos (AAA), Análise Quantitativa de Riscos (AQR), "What-if (E se)", Lista de Verificação ou *Checklist*, Análise de Camadas de Proteção (LOPA), entre outras que podem ser classificadas em qualitativas e quantitativas.

As técnicas qualitativas são baseadas na experiência, percepção e conhecimento técnico operacional. Fundamentadas no profundo conhecimento sobre os fenômenos relacionados com a operação e com o projeto do empreendimento tecnológico. Já as técnicas quantitativas visam promover maior objetividade no tratamento de questões relacionadas com acidentes, estas técnicas “tentam” quantificar os riscos por meio de modelagens matemáticas, associando-os a números. Dessa forma, grande parte das decisões que dependem de discussão e consenso, muitas vezes difícil de serem obtidos, pode ser orientada por análises que expressam valores numéricos reduzindo as dificuldades de transposição da discussão de opiniões divergentes (PORTELA, 2015).

As técnicas qualitativas e quantitativas de análise de riscos se complementam e os empreendimentos tecnológicos devem, tanto quanto possível, utilizar ambas as ferramentas para o gerenciamento de riscos. Nesse contexto, a LOPA (Análise de Camadas de Proteção) é uma técnica de análise quantitativa de riscos que utiliza informações sobre os perigos, severidade, causas iniciadoras, dados de probabilidade de ocorrência de eventos bem como informações obtidas a partir dos resultados de outras técnicas previamente aplicadas, como APR, Hazop etc.

O acidente que aconteceu no dia 11 de fevereiro de 2015, na FPSO Cidade de São Mateus, decorrente do vazamento de condensado, seguido de explosão na casa de bombas, com a morte de 9 pessoas e ferimento de outras 26, além de danos à instalação, inundação parcial e interrupção da produção de dois campos por tempo indeterminado (ANP, 2015), foi escolhido para aplicar a técnica de Análise de Camadas de Proteção (LOPA).

A embarcação Cidade de São Mateus tratava-se de um *Floating, Production, Storage and Offloading* (FPSO), que é uma unidade estacionária flutuante (Floating) que produz (Production) e armazena (Storage) petróleo e efetua o seu escoamento (Offloading).

## 2 TÉCNICAS DE ANÁLISE DE RISCOS QUANTITATIVAS NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO

Os métodos quantitativos de risco são usados para avaliar riscos potenciais quando métodos qualitativos, como APR, APP e HAZOP, não conseguem fornecer um entendimento completo dos riscos. A análise quantitativa de riscos (AQR) é um método que identifica onde a operação e/ou os sistemas de engenharia e gerenciamento podem ser modificados para reduzir os riscos. Entretanto, o método da AQR requer informações precisas, tornando-o complexo. Por esse motivo, na década de 1990, o conceito de camadas de proteção (LOPA) começou a ser abordado. Em razão da complexidade dos métodos quantitativos, técnicas intermediárias de quantificação condicionadas a uma técnica qualitativa, ou seja, técnicas semiquantitativas, passaram a ser aprofundadas, requisitadas, principalmente com aplicação à indústria de processo (VASCONCELOS, 2008).

## 2.1 Análise de Camadas de Proteção (LOPA)

Segundo Vasconcelos (2008), a Análise de Camadas de Proteção – *Layer of Protection Analysis* (LOPA) é uma técnica simplificada de análise de riscos que é elaborada em sequência ao uso de uma técnica qualitativa de identificação de perigos e riscos como o HAZOP e APR. Pode ser definida como uma ferramenta semiquantitativa, pois gera uma estimativa do risco, sendo seus resultados deliberadamente conservadores

A LOPA utiliza categorias em ordem de magnitude para a frequência do evento iniciador, severidade das consequências e probabilidade de falhas para camadas de proteção independente, também chamada de IPL para calcular o risco aproximado de um cenário. Além disso, estabelece se há IPL suficientes para controlar o risco em dado cenário de acidente. Se o risco estimado de um cenário não for aceito, IPL adicionais devem ser acrescentadas. Porém, esta técnica não informa quais IPL devem ser acrescentadas ou que projeto deve ser escolhido. O cenário é tipicamente identificado durante a análise de perigos, na avaliação de mudança ou revisão de projeto (VASCONCELOS, 2008).

O propósito primário da LOPA é determinar se existem camadas de proteção suficientes para fazer frente a um cenário de acidente. Dependendo da complexidade do processo e da severidade do acidente, podem ser necessárias uma ou diversas camadas de proteção, de forma que o risco de acidente se torne tolerável (SOARES, 2010). AIChE/CCPS (2007) define uma camada de proteção independente (IPL) como “um dispositivo, sistema ou ação que é capaz de impedir que a consequência indesejada de um cenário ocorra, independente do evento iniciador ou da ação de qualquer outra camada de proteção desse cenário”.

A aplicação da LOPA é feita por etapas, descritas a seguir (VASCONCELOS, 2008 apud CCPS, 2001):

- 1) Identificar consequências para proteger os cenários. A consequência é identificada durante a análise qualitativa. Em seguida, o analista calcula a consequência e estima sua magnitude;
- 2) Selecionar um cenário de acidente. A LOPA é aplicada a um cenário de cada vez. O cenário pode vir de análises qualitativas e descreve um único par causa-consequência;
- 3) Identificar o evento iniciador do cenário e determinar a frequência do evento iniciador (eventos por ano). O evento iniciador deve conduzir à consequência (todas as salvaguardas falhando). A frequência deve considerar os aspectos secundários do cenário;
- 4) Identificar IPL e estimar a probabilidade de falha na demanda para cada IPL. O ponto principal da LOPA é reconhecer as salvaguardas que estabelecem os requisitos das IPL para um dado cenário;
- 5) Estimar o risco do cenário por combinações matemáticas de consequência, evento iniciador e IPL's. Outros fatores podem ser incluídos durante os cálculos, dependendo da definição de consequência (impacto do evento). Aproximações incluem fórmulas aritméticas e métodos gráficos;

6) Avaliar o risco para tomar uma decisão relativa ao cenário. Esta etapa compara o risco de um cenário com os critérios de tolerância de risco da empresa e/ou os objetivos relacionados.

A eficiência de uma IPL é quantificada em termos de Probabilidade de Falha na Demanda (PFD) que é definida com a probabilidade de um sistema falhar no desempenho de uma função específica na demanda. A PFD é um número adimensional entre 0 e 1. Quanto menor o valor da PFD, maior será a redução na frequência da consequência para uma dada frequência de evento iniciador (VASCONCELOS, 2008).

Segundo Vasconcelos (2008), as IPL podem ser ativas, passivas ou humanas. Algumas IPL conseguem redução no risco usando meios passivos para reduzir a frequência de eventos com altas consequências. Uma IPL passiva não é requerida para se tomar uma ação com a finalidade de reduzir o risco. Algumas IPL conseguem redução no risco usando meios passivos para reduzir a frequência de eventos com altas consequências. Se projetados adequadamente, tais sistemas passivos podem ser creditados como IPL com um alto nível de confiança, e reduzirão significativamente a frequência dos eventos com consequências potencialmente maiores (LOURENÇO, 2010). Conforme Quadro 1 são mostradas as IPL passivas, com as respectivas PFD.

Quadro 1 – Exemplos de IPL passivas

IPL	<b>Comentários Assumindo uma base de projeto adequada e procedimentos adequados de inspeção e manutenção.</b>	<b>PFD da literatura e indústria</b>
Dique	Irá reduzir a frequência de grandes consequências (derramamento generalizado) de um tanque transbordando/rompendo/derramando/etc.	$1 \times 10^{-2}$ - $1 \times 10^{-3}$
Sistema de drenagem subterrânea	Irá reduzir a frequência de grandes consequências (derramamento generalizado) de um tanque transbordando/rompendo/derramando/etc.	$1 \times 10^{-2}$ - $1 \times 10^{-3}$
Ventilação aberta (sem válvula)	Irá prevenir o excesso de pressão.	$1 \times 10^{-2}$ - $1 \times 10^{-3}$
Prova de fogo	Irá reduzir a taxa de entrada de calor e fornecer tempo adicional para despressurizar/combater incêndio/etc.	$1 \times 10^{-2}$ - $1 \times 10^{-3}$
Parede de explosão/ <i>Bunker</i>	Irá reduzir a frequência de grandes consequências de uma explosão confinando a explosão e protegendo equipamentos/instalações/etc.	$1 \times 10^{-2}$ - $1 \times 10^{-3}$

IPL	Comentários Assumindo uma base de projeto adequada e procedimentos adequados de inspeção e manutenção.	PFD da literatura e indústria
Projeto "inerentemente seguro"	Se implementado corretamente, pode reduzir significativamente a frequência das consequências associadas a um cenário. Nota: As regras da LOPA para algumas empresas permitem recursos de projetos inerentemente seguros para eliminar certos cenários. Por exemplo: o projeto de pressão da embarcação excede em todos os possíveis desafios de alta pressão.	$1 \times 10^{-1}$ - $1 \times 10^{-6}$
Chamas/para-detonção	Se adequadamente projetado, instalado e mantido, eles devem eliminar o potencial de <i>flashback</i> por meio de um sistema de tubulação ou em um vaso ou tanque	$1 \times 10^{-1}$ - $1 \times 10^{-3}$

Fonte: Adaptado de CCPS (2001).

Já as IPL ativas são requeridas para afastar um estado do outro em resposta a uma mudança em propriedades mensuráveis do processo (temperatura, pressão, nível, vazão) ou um sinal de outra fonte, tais como botão de pressão, ou interruptor. As IPL ativas geralmente são sensores, um processo de tomada de decisão, ou uma ação automática, mecânica ou humana. O Quadro 2 apresenta exemplos desse tipo de IPL e o PFD da literatura e indústria.

Quadro 2 – Exemplos de IPL ativas

IPL	Comentários Assumindo bases de projeto adequadas e procedimentos de inspeção/manutenção	PFD da literatura e indústria
Válvula de escape	Evita que o sistema exceda a sobrepressão especificada. A eficácia deste dispositivo é sensível ao serviço e à experiência.	$1 \times 10^{-1}$ - $1 \times 10^{-5}$
Disco de ruptura	Evita que o sistema exceda a sobrepressão especificada. A eficácia pode ser muito sensível ao serviço e à experiência.	$1 \times 10^{-1}$ - $1 \times 10^{-5}$
Sistema de Controle Básico do Processo (BPCS)	Pode ser creditado como um IPL se não estiver associado ao evento inicial que está sendo considerado.	$1 \times 10^{-1}$ - $1 \times 10^{-2}$

Fonte: Adaptado de CCPS (2001).

O cálculo de frequência para um cenário com uma consequência específica é obtido pela Equação 1, na qual a frequência do evento indicador é multiplicada pelo produto das PFD's de cada IPL.

## Equação 1 – Cálculo da frequência para um cenário

$$f_i^c = f_i \times \prod_{j=1}^j PFD_{ij} = f_i \times PFD_{i1} \times PFD_{i2} \times \dots \times PFD_{ij}$$

Onde:

$f_i^c$  = frequência para a consequência C para o evento iniciador i

$f_i$  = frequência do evento iniciador para o evento iniciador i

$PFD_{ij}$  = Probabilidade de falha em demanda da j-ésima IPL que protege contra a consequência C para o evento iniciador i

Por fim, no Quadro 3, são encontradas as IPL de ação humana, que, segundo Vasconcelos (2008), envolvem a confiança dos operadores ou de outros funcionários para tomar a ação de prevenir uma consequência indesejada, em resposta a alarmes ou em seguida a uma verificação de rotina do sistema.

Quadro 3 – Exemplos de IPL de Ação Humana

IPL	Comentários Assumindo documentação adequada, treinamento e procedimentos de teste	PDF da literatura e indústria
Ação humana com tempo de resposta de 10 minutos	Ação simples e bem documentada com indicações claras e confiáveis de que a ação é necessária	1.0 - $1 \times 10^{-1}$
Resposta humana à indicação BPCS ou alarme com tempo de resposta de 40 minutos	Ação simples e bem documentada com indicações claras e confiáveis de que a ação é necessária.	$1 \times 10^{-1}$
Ação humana com tempo de resposta de 40 minutos	Ação simples e bem documentada com indicações claras e confiáveis de que a ação é necessária	$1 \times 10^{-1}$ - $1 \times 10^{-2}$

Fonte: Adaptado de CCPS (2001).

A LOPA é usualmente aplicada para determinar se um cenário está dentro dos critérios de tolerância de risco ou se o mesmo deve ser reduzido. Se o risco calculado é menor que os critérios de tolerância, o cenário calculado tem um risco suficientemente baixo ou tem mitigação (ou IPL) suficiente e nenhuma mitigação adicional é necessária. Se, entretanto, o risco calculado exceder o critério de tolerância, o cenário calculado requer uma mitigação (IPL) adicional (ou mais forte), ou requer mudanças no projeto para tornar o processo inerentemente seguro, reduzindo a frequência ou consequência do cenário, ou (preferivelmente) eliminando o cenário (VASCONCELOS, 2008).

A Tabela 1 apresenta um exemplo de planilha para documentação e cálculos de cenários para LOPA. Nessa tabela, BPCS é a sigla do Sistema de Controle Básico do Processo que é o primeiro nível de proteção durante uma operação normal, sendo uma IPL relativamente fraca, por ter usualmente pequenas redundâncias nos com-

ponentes, capacidade de teste embutida e segurança limitadas contra mudanças não autorizadas para o programador lógico interno; SIF (Função Instrumentada de Segurança) refere-se as funções de controle estáticos, como intertravamentos de segurança e alarmes críticos de segurança. Cada SIF terá seu próprio valor de PFD, baseado no número de sensores, solucionadores lógicos, intervalo de tempo entre testes, por exemplo (VASCONCELOS, 2008).

Tabela 1 – Modelo de planilha para documentação e cálculos de cenários para LOPA

Número do Cenário	Zona de Avaliação	Título do Cenário	
	Descrição	PFD	Freq. (/ano)
Consequência (Descrição / Categoria)			
<b>Evento Iniciador</b>			
<b>Frequência da Consequência não mitigada</b>			
<b>Camadas de Proteção Independentes</b>			
BPCS			
Intervenção Humana			
SIF			
Probabilidade Total de Falha na demanda para todas IPL's			
Frequência da Consequência Mitigada			
Critério de Tolerância de Risco é atendido? (Sim/Não):			
Ações Necessárias para atender o Critério de Tolerância de Risco:			
Observações:			

Fonte: Autores (2022).

Padrões internacionais agruparam SIF para aplicações em indústrias de processos químicas em categorias chamadas "Níveis Integrados de Segurança (SILs)", sendo definidos conforme Quadro 4.

Quadro 4 – Níveis Integrados de Segurança (SIL)

<b>Funções Instrumentadas de Segurança (SIF)</b>		
SIL 1	Normalmente consiste em: Sensor único (redundante para tolerância a falhas); Processador lógico único (redundante para tolerância a falhas); Elemento final único (redundante para tolerância a falhas);	$1 \times 10^{-2} \leq \text{PDF} < 1 \times 10^{-1}$



<b>Funções Instrumentadas de Segurança (SIF)</b>		
SIL 2	Normalmente consiste em: Sensor "múltiplo" (para tolerância a falhas); Processador lógico de canal "múltiplo" (para tolerância a falhas); Elemento final "múltiplo" (para tolerância a falhas).	$1 \times 10^{-3} \leq \text{PDF} < 1 \times 10^{-2}$
SIL 3	Normalmente consiste em: Sensor múltiplo; Processador lógico de canal múltiplo; Elemento final múltiplo.	$1 \times 10^{-4} \leq \text{PDF} < 1 \times 10^{-3}$

Fonte: Adaptado de CCPS (2001).

### 3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada é um estudo de caso realizado a partir da investigação do relatório da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) sobre o acidente do FPSO Cidade de São Mateus. Nesse estudo, as causas e consequências desse acidente foram identificadas de forma semi-quantitativa, por meio da Análise de Camadas de Proteção – LOPA.

A aplicação da LOPA foi feita por etapas, conforme explicado no item 2.2, sendo a primeira etapa a identificação das consequências de cada cenário. Esta foi feita usando a APR do acidente da plataforma FPSO Cidade de São Mateus (LIMEIRA *et al.*, 2022). Cada seção de um processo é examinada e todos os possíveis desvios das condições normais de operação, e como podem ocorrer são listados. As consequências são avaliadas e as medidas para detectar desvios "prováveis", que podem levar a eventos perigosos ou problemas de operabilidade, são identificadas (VASCONCELOS, 2008).

O modelo de planilha da Figura 1 acima foi aplicado para documentação e cálculos de cenários para a LOPA. Nessa planilha, são apresentados os critérios utilizados para verificar de forma semi-quantitativa a segurança no âmbito de trabalho como a probabilidade de falha na demanda (PFD), sistema de controle básico do processo (BPCS), função instrumentada de segurança de segurança (SIF), probabilidade total de falha na demanda para todas as camadas de proteção independente (IPL), entre outros fatores.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta etapa, serão apresentados os resultados e discussões da análise de risco LOPA no acidente ocorrido na FPSO Cidade de São Mateus. Vale salientar que os resultados da análise qualitativa da APR obtida pelos autores Limeira e outros autores (2022) foram necessários para a definição dos cenários e elaboração das planilhas.

### 4.1 CENÁRIO 1

O cenário 1 é a falha nas válvulas, juntas e conexões. Uma falha nesses equipamentos pode causar a perda de controle dos processos, vazamentos, explosões e

uma série de acidentes graves. Foi visto que não foi realizado corretamente o isolamento no flange à montante da válvula OP-068, sendo feito então um isolamento com a utilização de uma raquete com espessura provavelmente inferior à necessária para a classe de pressão da linha (ANP, 2015).

O resultado da LOPA para esse cenário indicou que as proteções não estão atendendo aos critérios de tolerância de risco. Sendo assim, ações imediatas seriam necessárias para sanar os problemas decorrentes das válvulas dentro do FPSO Cidade de São Mateus. Como a ocorrência de falhas nas válvulas, juntas e conexões na indústria em geral é um problema corriqueiro e por não conseguimos dados suficientes da frequência de eventos por ano, a coluna acabou não sendo preenchida. A Tabela 2 mostra o resultado para o cenário 1.

Tabela 2 – Planilha LOPA do Cenário 1

Número do Cenário 1	Zona de Avaliação Casa de bombas	Título do Cenário Falha na válvula controladora de pressão que resultou no vazamento de condensado	
		Descrição	Freq. (/ano)
Consequência (Descrição / Categoria)	Vazamento de condensado Categoria 5		
<b>Evento Iniciador</b>	Problemas nas válvulas do sistema de armazenamento, que apresentavam passagem interna de fluido mesmo quando fechadas.		
<b>Frequência da Consequência não mitigada</b>			
<b>Camadas de Proteção Independentes</b>			
BPCS			
Intervenção Humana		1x10 <sup>-1</sup>	
SIF			
Probabilidade Total de Falha na demanda para todas IPL		1x10 <sup>-1</sup>	
Frequência da Consequência Mitigada			
Critério de Tolerância de Risco é atendido? (Sim/Não): Não			
Ações Necessárias para atender o Critério de Tolerância de Risco: É necessário um sistema de detecções e de alarmes para monitorar, continuamente, a possibilidade de perda de contenção de materiais tóxicos, inflamáveis e incêndio, a equipe deve possuir treinamento para situações de adversidade. Utilização da NR20 e NR37.			
Observações:			

Fonte: Autores (2022).

## 4.2 CENÁRIO 2

O cenário 2 é a falha ao operar bomba de *stripping* com descarga fechada. Uma falha nesse equipamento pode causar o vazamento de condensado e falhas de controle. Foi visto que faltou o plano para inspeções, calibração e testes para garantir confiabilidade mínima para a válvula de segurança da bomba de *stripping*.

O resultado da LOPA para esse cenário indicou que as proteções não estão atendendo aos critérios de tolerância de risco. Sendo assim se fazia necessárias ações imediatas para sanar os problemas decorrentes das válvulas dentro do FPSO Cidade de São Mateus e prover os recursos necessários de implementação de procedimentos operacionais, garantindo que estes estejam atuais, disponíveis e adequados. A Tabela 3 mostra o resultado para o cenário 2.

Tabela 3 – Planilha LOPA do Cenário 2

Número do Cenário 2	Zona de Avaliação Casa de bombas	Título do Cenário Falha ao operar bomba de stripping com descarga fechada.	
	Descrição	PFD	Freq. (/ano)
Consequência (Descrição / Categoria)	Explosão da bomba de stripping por excesso de pressão, vazamento. Categoria 4		
<b>Evento Iniciador</b>	Falha na interpretação dos dados obtidos pela Interface Homem-Máquina (IHM).		$8,28 \times 10^{-3}$
<b>Frequência da Consequência não mitigada</b>			$8,28 \times 10^{-3}$
<b>Camadas de Proteção Independentes</b>			
BPCS			
Intervenção Humana		$1 \times 10^{-1}$	
SIF			
Probabilidade Total de Falha na demanda para todas IPL's		$1 \times 10^{-1}$	
Frequência da Consequência Mitigada			$8,28 \times 10^{-4}$
Critério de Tolerância de Risco é atendido? (Sim/Não): Não			
Ações Necessárias para atender o Critério de Tolerância de Risco: Treinamento especializado ao operador da Interface Homem-Máquina (IHM)			
Observações:			

Fonte: Autores (2022).

### 4.3 CENÁRIO 3

O cenário 3 é a falta de alarme de pressão alta na descarga na bomba. Esta falha impossibilita a detecção de possíveis perigos, devido à elevada pressão, ocasionando rupturas e consequentemente vazamentos. Dependendo da localização deste vazamento, pode-se gerar grandes acidentes devido à presença de substâncias tóxicas e explosivas.

O resultado da LOPA indica que é opcional adicionar outra camada de proteção, desde que com a correta automatização do sistema de alarme de alta pressão na descarga na bomba, o sistema irá identificar possíveis perigos. A Tabela 4 mostra o resultado para o cenário 3.

Tabela 4 – Planilha LOPA do Cenário 3

Número do Cenário 3	Zona de Avaliação Estocagem de condensado	Título do Cenário Falta no sistema elétrico de alarmes	
		PFD	Freq. (/ano)
Consequência (Descrição / Categoria)	Durante o aumento da pressão na descarga da bomba, a falta de alarme dela pode ocasionar ruptura nas tubulações consequentemente levando a um vazamento. Categoria 4		
<b>Evento Iniciador</b>	Falha de manutenção no sistema de operacional.		$4,46 \times 10^{-2}$
<b>Frequência da Consequência não mitigada</b>			$4,46 \times 10^{-2}$
<b>Camadas de Proteção Independentes</b>			
BPCS			
Intervenção Humana		$1 \times 10^{-1}$	
SIF			
Probabilidade Total de Falha na demanda para todas IPL's		$1 \times 10^{-1}$	
Frequência da Consequência Mitigada			$4,46 \times 10^{-3}$
Critério de Tolerância de Risco é atendido? (Sim/Não): Opcional (avalie as alternativas)			
Ações Necessárias para atender o Critério de Tolerância de Risco: O sistema de monitoramento do equipamento deve estar atualizado e a manutenção deve estar de acordo com as instruções do fabricante.			
Observações			

Fonte: Autores (2022).

## 4.4 CENÁRIO 4

O cenário 4 é a degradação do sistema de carga, a passagem de serviço inadequada, falha na comunicação entre turnos e documentos desatualizados, que geraram uma restrição de conhecimento de todos os operadores do local, impossibilitando o entendimento de novas operações e equipamentos. Como consequência ocorreu um ataque químico ao material de vedação das válvulas de fechamento do sistema de transferência de carga, acelerando sua degradação generalizada. A Tabela 5 mostra o resultado para o cenário 4.

Tabela 5 – Planilha LOPA do Cenário 4

Número do Cenário 4	Zona de Avaliação Sistema de Carga	Título do Cenário Falha de comunicação e inexistência de procedimentos operacionais, propiciaram a degradação do sistema de cargas.	
	Descrição	PFD	Freq. (/ano)
Consequência (Descrição / Categoria)	Devido a erros operacionais, comunicação inadequada entre os turnos, falhas em registrar e documentar as alterações ocorridas no sistema. A presença de hidrocarbonetos aromáticos no condensado armazenado causou um ataque químico ao material de vedação das válvulas de fechamento do sistema de transferência de carga, acelerando sua degradação generalizada. Categoria 4		
<b>Evento Iniciador</b>	Comunicação inadequada		$1,85 \times 10^{-2}$
<b>Frequência da Consequência não mitigada</b>			$1,85 \times 10^{-2}$
<b>Camadas de Proteção Independentes</b>			
BPCS			
Intervenção Humana		$1 \times 10^{-1}$	
SIF			
Probabilidade Total de Falha na demanda para todas IPL's			
Frequência da Consequência Mitigada		$1 \times 10^{-1}$	$1,85 \times 10^{-3}$
Critério de Tolerância de Risco é atendido? (Sim/Não): Não			
Ações Necessárias para atender o Critério de Tolerância de Risco: Paradas de manutenção.			
Observações:			

Fonte: Autores (2022).

Conforme Tabela 5, o resultado da LOPA para esse cenário indicou que as proteções não estão atendendo aos critérios de tolerância de risco. Sendo assim se fazia necessárias ações imediatas para sanar os problemas decorrentes do sistema de carga dentro do FPSO Cidade de São Mateus.

## 4.5 CENÁRIO 5

O cenário 5 é a falta de revisão de riscos no início da operação da unidade, fazendo assim a estocagem inadequada de condensado na plataforma. Ao acertar a alternativa de armazenar o condensado sem ser misturado ao óleo não havendo o exato gerenciamento dos riscos introduzidos por esta alteração, desencadeou uma cadeia de eventos até chegar no presente acidente.

O resultado da LOPA para esse cenário indicou que as proteções não estão atendendo aos critérios de tolerância de risco. Sendo assim se fazia necessárias ações imediatas para sanar os problemas decorrentes da estocagem inadequada de condensado dentro do FPSO Cidade de São Mateus. A Tabela 6 mostra o resultado para o cenário 5.

Tabela 6 – Planilha LOPA do Cenário 5

Número do Cenário 5	Zona de Avaliação Estocagem de condensado	Título do Cenário Falta de revisão de riscos no início da operação da unidade, fazendo assim a estocagem inadequada de condensado na plataforma.	
		PF	Freq. (/ano)
Consequência (Descrição / Categoria)	Problemas de controle, falhas mecânicas. Categoria 4		
<b>Evento Iniciador</b>	O FPSO CDSM só estocaria condensado caso armazenasse óleo. Todavia, durante discussões de projeto, a Petrobras (2012) requisitou à Prosafe que avaliasse se o condensado estaria estabilizado para ser armazenado sem ser misturado a óleo. Categoria 4		$8,30 \times 10^{-4}$
<b>Frequência da Consequência não mitigada</b>			$8,30 \times 10^{-5}$
<b>Camadas de Proteção Independentes</b>			
BPCS			
Intervenção Humana		$1 \times 10^{-1}$	
SIF			

Número do Cenário 5	Zona de Avaliação Estocagem de condensado	Título do Cenário Falta de revisão de riscos no início da operação da unidade, fazendo assim a estocagem inadequada de condensado na plataforma.	
Probabilidade Total de Falha na demanda para todas IPL's			
Frequência da Consequência Mitigada		1x10 <sup>-1</sup>	8,30x10 <sup>-5</sup>
Critério de Tolerância de Risco é atendido? (Sim/Não): Não			
Ações Necessárias para atender o Critério de Tolerância de Risco: Processo de gerenciamento de mudança antes do início da operação da unidade correto e revisão de riscos no início da operação da unidade.			
Observações:			

Fonte: Autores (2022).

## 5 CONCLUSÕES

A partir da análise preliminar de risco (APR) dos autores Limeira e outros autores (2022) foi possível aplicar a técnica semiquantitativa da análise de camadas de proteção (LOPA) no acidente que ocorreu com o FPSO Cidade de São Mateus.

Assim, na análise da aplicação da LOPA, foi observado que 4 dos 5 cenários estudados apresentaram a necessidade de ações imediatas, pois não atenderem os critérios de totalidade de risco, mostrando também a necessidade imediata da implementação de novas camadas de proteção ou melhorias nas camadas de proteção existentes para sanar a necessidade de segurança dos trabalhadores em ambiente de trabalho, e apenas 1 dos cenários apresentou a necessidade de ações a curto prazo com base na frequência da consequência mitigada.

Para os cenários de falha de comunicação e inexistência de procedimentos operacionais e presença de atmosfera explosiva no sistema, foi constatado e encontrado valores de frequência da consequência mitigada, consecutivamente de  $1,85 \times 10^{-3}$  e  $8,3 \times 10^{-5}$ , demonstrando que as camadas de proteção utilizadas no segundo cenário apresentaram eficiência muito maior que no primeiro, e ainda assim não foi suficiente para sanar a necessidade de segurança no ambiente de trabalho.

Assim, conclui-se que a aplicação do método de análise semiquantitativa contribui e direciona a indústria de petróleo e gás à aplicação das medidas de segurança para prevenção de acidentes.

## REFERÊNCIAS

AICHE– American Institute of Chemical Engineers/CCPS. **Guidelines for Risk Based Process Safety**, Editora Wiley, 2007.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Relatório de investigação do incidente de explosão ocorrido em 11/02/2015 no FPSO Cidade de São Mateus**. Rio de Janeiro, 2015.

CCPS – Centro de Segurança para Processos Químicos. **Layer of Protection Analysis: Simplified Process Risk Assessment**, 2001.

LIMEIRA, V.; SILVA SOUZA, D. H.; SANTOS, MAURÍCIO DE OLIVEIRA S.; PAIXÃO DOS SANTOS, V. C. Aplicação da técnica APR no acidente do FPSO Cidade de São Mateus. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas**, UNIT, Alagoas, v. 7, n. 2, p. 64, 2022. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/10348>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2022.

LOURENÇO, M. J. M. **Análise das condições de proteção e segurança radiológicas das instalações com aceleradores de partículas na área de pesquisa no Brasil**. 2010. 22 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Nuclear) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2010.

MTb. NR 20 - **Segurança e saúde no trabalho com inflamáveis e combustíveis**. Disponível em: [https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos\\_SST/SST\\_NR/NR-20](https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-20). Acesso em: 27 de março de 2022.

MTb. NR 37 - **Segurança e saúde em plataformas de petróleo**. Disponível em: [https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos\\_SST/SST\\_NR/NR-37- atualizada-2018---prazos-2019.pdf](https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-37- atualizada-2018---prazos-2019.pdf). Acesso em: 27 de março de 2022.

PETROBRAS. **Estudo complementar para a atividade de produção e escoamento de petróleo e gás natural do polo pré-sal da bacia de Santos** – Etapa 1/FPSO Cidade de São Paulo: Análise e Gerenciamento de Riscos Ambientais. PETROBRAS, 2012. Disponível em: <http://licenciamento.ibama.gov.br/Petroleo/>. Acesso em: 12 set. 2020

PORTELA, G. **Gerenciamento de riscos na indústria de petróleo e gás: offshore e onshore**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SCOFANO, C. R. F.; ABRAHAM, E. F.; SILVA, L. S.; TEIXEIRA, M. A. **Gestão de risco em projetos: análise das etapas do PMI-PMBOK (Project Management Institute)**. Congresso Online de Administração, 11, 2013. **Anais [...]**, Brasília, 2013.



VASCONCELOS, F. M. **Uma aplicação da técnica de análise de camada de proteção na avaliação do risco do sistema de hidrogênio de refrigeração do gerador elétrico principal de uma usina nuclear.** 2008. Dissertação (Mestrado) – UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.

---

**Data do recebimento:** 29 de setembro de 2022

**Data da avaliação:** 13 de outubro de 2022

**Data de aceite:** 14 de outubro de 2022

---

---

1 Pós-graduando em Engenharia de Petróleo e Gás na Faculdade Unyleya.

E-mail: diegoheenrique@hotmail.com

2 Egresso do curso de Engenharia de Petróleo – UNIT/AL. E-mail: sergio.oliveiras@live.com

3 Técnica de Asseguração da Qualidade na empresa Solar Coca Cola. E-mail: vitoriacpaixaos@outlook.com

4 Doutora; Professora dos Cursos das Engenharias – UNIT/AL. E-mail: vanessa.limeira@gmail.com