

## **Contribuição do Fator Humano em Manobras de Descarregamento de um FPSO para Navio Tanque Aliviador**

Mayara do Carmo Carbono e Marcelo Ramos Martins

Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica

Marcos Coelho Maturana

Laboratório de Análise, Avaliação e Gerenciamento de Risco

### **RESUMO**

O emprego de navios tanque aliviadores é essencial para o escoamento do petróleo produzido em regiões oceânicas do Brasil. A análise de acidentes marítimos demonstra que 8% desses eventos estão relacionados às atividades de carga e descarga desse tipo de embarcação. Além disso, o estudo dos acidentes na indústria *offshore* demonstra que a principal causa foi o erro humano. De forma geral, é consenso entre especialistas que em sistemas com um alto grau de redundância de *hardware* (que minimiza as consequências de falhas de componente únicos) os erros humanos podem representar mais de 90% da probabilidade de falha do sistema. Por outro lado, um dos aspectos considerados mais importantes na prevenção de acidentes é o elemento humano. Assim, a análise da contribuição do erro humano nos procedimentos operacionais se faz necessária para a segurança e perpetuidade dos processos nessa indústria.

O objetivo deste estudo é identificar o maior contribuinte para o erro humano em manobras de descarregamento de um FPSO (*Floating, Production, Storage and Offloading*) para um navio petroleiro, a partir da elaboração de uma HRA (*Human Reliability Analysis*) utilizando a metodologia THERP (*Technique for Human Error Rate Prediction*). A aplicação dessa metodologia se baseou na utilização de árvores de falha e árvores de eventos, representando as correlações de causa e efeito do sistema em análise. Com isso, foi possível determinar as probabilidades de ocorrência dos cenários em avaliação, fornecendo o poder de decisão ao navio para direcionar os esforços e reduzir efetivamente a probabilidade de falha nessa operação. Este trabalho, a princípio, apresenta a metodologia quantitativa utilizada para a modelagem da probabilidade de erros humanos (*HEP – Human Error Probability*) considerando os fatores de forma (*PSF – Performance Shaping Factor*) e, em seguida, o estudo de caso elaborado para um FPSO operando no pré-sal da bacia de Santos.

### **1. INTRODUÇÃO**

Conforme CCPS (1994) depois de muitos anos de melhorias nos métodos técnicos de segurança e no projeto de processos, muitas organizações descobriram que as taxas de acidentes, as perdas de processos e a lucratividade alcançaram um patamar além do qual outras melhorias parecem impossíveis de alcançar. Outra constatação é que, mesmo em organizações com bons registros gerais de segurança, ocorrem desastres ocasionais em grande escala que abalam a confiança do público na indústria de processos químicos.

Durante os últimos 30 anos, os 100 maiores acidentes em instalações de processos químicos e de hidrocarbonetos feriram ou mataram centenas de pessoas, contaminaram o meio ambiente e causaram mais de US \$ 8 bilhões em perdas com danos materiais. O custo real desses acidentes foi muito maior devido aos custos associados a lucros cessantes, custos de limpeza, custos legais, multas, perdas de participação de mercado e assim por diante. O erro humano foi um fator significativo em quase todos esses acidentes. Em sistemas onde um alto grau de redundância de *hardware* minimiza as consequências de falhas de componente único, os erros humanos podem representar mais de 90% da probabilidade de falha do sistema. (API 770, 2001).

De acordo com Polo (2013) como as reservas de petróleo e gás se localizam em regiões remotas e águas profundas, isso moveu a indústria petroleira a investir nos FPSOs, entretanto conforme Vinnem, Utne e Schjøberg (2015) estas instalações são mais dependentes dos controles manuais tanto em operações normais quanto em situações críticas em comparação com instalações fixas, sendo assim os acidentes por muitas vezes são iniciados devido a fatores humanos. Em Rodriguez, Souza e Martins (2009) baseado na análise de acidentes marítimos, 8% destes são relacionados a atividades de carga e descarga de navios tanque aliviadores, sendo esse transporte o principal na bacia petrolífera do Brasil e com perspectiva de crescimento. Zhang, Tan e Afazl (2020) informam que através de investigações dos acidentes na indústria offshore, a principal causa encontrada foi o erro humano.

Este artigo tem como base um estudo de caso, o qual aborda a identificação do maior contribuinte para a falha humana em manobras de descarregamento de um FPSO para um navio tanque aliviador, através da elaboração de uma HRA (Human Reliability Analysis) utilizando a metodologia THERP (Technique for Human Error Rate Prediction).

## 2. METODOLOGIA

A metodologia THERP (Technique for Human Error Rate Prediction) foi desenvolvido por Swain e Guttman (1983) do Sandia National Laboratories para a *U.S. Nuclear Regulatory Commission* tornando-se uma metodologia quantitativa de análise de confiabilidade humana (HRA) muito utilizada e considerada eficaz na quantificação de erros em atividades altamente processuais (IMO, 2018).

THERP é uma técnica de modelagem de probabilidade de erros humanos (HEP – Human Error Probability) considerando fatores de forma (PSF – Performance Shaping Factor), utilizando árvores de probabilidades, sendo elas árvores de falhas e de eventos que com suas portas lógicas é possível representar as correlações de causa e efeito do sistema em análise, com isso é possível determinar as probabilidades de ocorrência dos cenários em avaliação. (MATURANA, 2010)

Ainda conforme Maturana (2010) as árvores de probabilidades são empregadas de modo similar que em confiabilidade de sistemas, levando em consideração as ações humanas ao invés dos estados do sistema ou componentes e suas respectivas probabilidades de falha. Com isso, é possível analisar o desgaste do sistema homem-máquina aplicando falhas e influências do indivíduo quando o componente ou equipamento está em operação.

Para a aplicação desta metodologia se faz necessário seguir os seguintes passos segundo IMO (2018):

- 1- Identificar todos os sistemas operacionais que possam ser influenciados e afetados por fatores humanos;
- 2- Compilar em uma lista de tarefas todas as ações humanas que afetam as operações do sistema executando uma análise detalhada das tarefas;
- 3- Determinar as probabilidades de erros humanos (HEP) relevantes das tarefas analisadas anteriormente através de banco de dados de falhas, julgamentos e experiências de especialistas. Esta técnica utiliza os PSF para determinar as probabilidades de falha de cada atividade, pois estes influenciam as tarefas operacionais. Para determinar estas probabilidades de falha são empregadas as árvores de eventos que representam através de divisões binárias a atuação correta ou incorreta das tarefas. A Tabela 1 elaborada por Swain e Guttman (1983) apresenta alguns PSFs que afetam a confiabilidade humana;
- 4- Determinar os efeitos dos erros humanos integrando o erro humano nas árvores de falhas;
- 5- Recomendar mudança no sistema e recalcular a probabilidade de falha.

Swain e Guttman (1983), na Tabela 2, apresentam um procedimento de 4 etapas para correlacionar a probabilidade de erro humana com as tarefas. A Tabela 3 apresenta os MOFs que são os fatores de gestão e organizacionais, os fatores utilizados abaixo são os que melhor se adequam para operações de navios.

## 3. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo, os resultados da aplicação da metodologia serão apresentados. A manobra foi modelada baseada no procedimento da instalação em análise e entrevistas realizadas com os operadores. As próximas etapas serão conduzidas conforme a Tabela 2.

### 3.1 Familiarização

O processo abordado neste estudo para o desenvolvimento da análise de contribuição do fator humano é a manobra de descarregamento de um FPSO para navio tanque aliviador. O FPSO em análise possui o sistema de amarração distribuída (*Spread Mooring*) o que o mantém em posição sobre os poços submarinos por meio de pernas de ancoragem fixadas ao fundo do mar por âncoras tipo torpedo, a Figura 1 representa um desenho deste sistema de amarração.

Tabela 1 - Exemplos de Performance Shaping Factors (PSFs) que afetam a confiabilidade humana

<i>PSFs externos</i>		<i>PSFs estressores</i>	<i>PSFs internos</i>
<i>Geral para uma ou mais atividades em uma situação de trabalho</i>	<i>Específicos para tarefas em uma atividade</i>	<i>Afeta diretamente o estresse mental</i>	<i>Características das pessoas resultantes das influências internas e externas</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recursos arquitetônicos;</li> <li>- Qualidade do meio ambiente (Temperatura, umidade, qualidade do ar, iluminação etc.);</li> <li>- Horas de trabalho / intervalos de trabalho;</li> <li>- Rotação de turno;</li> <li>- Disponibilidade / adequação de equipamentos, ferramentas e suprimentos especiais;</li> <li>- Estrutura organizacional (autoridade, responsabilidade, canais de comunicação, etc.);</li> <li>- Ações de supervisores, colegas de trabalho, representantes e sindicais;</li> <li>- Recompensas, reconhecimento e benefícios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requisitos de percepção;</li> <li>- Requisitos motores (velocidade, força, precisão, etc.);</li> <li>- Relação controle-display;</li> <li>- Requisitos de antecipação;</li> <li>- Interpretação;</li> <li>- Tomada de decisão;</li> <li>- Complexidade;</li> <li>- Frequência e repetitividade;</li> <li>- Prazo longo e curto de memória;</li> <li>- Requisitos de cálculo;</li> <li>- Feedback;</li> <li>- Dinâmica x passo a passo das atividades;</li> <li>- Estrutura da equipe e comunicação;</li> <li>- Fatores de interface homem-máquina (projeto de equipamentos, teste de equipamentos, ferramentas, etc.).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Início repentino;</li> <li>- Duração do estresse;</li> <li>- Velocidade da tarefa;</li> <li>- Carga da tarefa;</li> <li>- Risco;</li> <li>- Ameaças (de falhas, perda de emprego);</li> <li>- Trabalho monótono degradante ou sem sentido;</li> <li>- Longos períodos de vigília sem intercorrências;</li> <li>- Conflitos sobre desempenho no trabalho;</li> <li>- Privação sensorial;</li> <li>- Distrações;</li> <li>- Sugestões inconsistentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Experiência / treinamento;</li> <li>- Estado da prática ou habilidade atual;</li> <li>- Variáveis pessoais e de inteligência;</li> <li>- Motivação e atitudes;</li> <li>- Estado emocional;</li> <li>- Estresse mental ou físico;</li> <li>- Conhecimento dos padrões de desempenho exigidos;</li> <li>- Diferenças de sexo;</li> <li>- Condição física;</li> <li>- Atitudes baseadas na influência da família e outras pessoas ou agências externas;</li> <li>- Identificação do grupo.</li> </ul>
<i>Instruções de trabalho e tarefas</i>		<i>Afeta diretamente o estresse físico</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procedimentos necessários (escritos ou não escritos);</li> <li>- Comunicação escrita ou oral;</li> <li>- Cuidados e avisos de advertência;</li> <li>- Métodos de trabalho;</li> <li>- Políticas da fábrica.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Duração do estresse;</li> <li>- Fadiga;</li> <li>- Dor ou desconforto;</li> <li>- Fome ou sede;</li> <li>- Temperaturas extremas;</li> <li>- Radiação;</li> <li>- Pressões atmosferas extremas;</li> <li>- Insuficiência de oxigênio;</li> <li>- Vibração;</li> <li>- Constrrição de movimento;</li> <li>- Falta de exercício físico.</li> </ul>	

Tabela 2 – Etapas para correlacionar a probabilidade de erro humana com as tarefas

<i>ETAPA 1</i>	<i>ETAPA 2</i>	<i>ETAPA 3</i>	<i>ETAPA 4</i>
<i>Familiarização</i>	<i>Análise Qualitativa</i>	<i>Análise Quantitativa</i>	<i>Incorporação</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Levantar informações;</li> <li>- Visita à fábrica;</li> <li>- Revisar procedimentos e informações de especialistas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar os requisitos de desempenho;</li> <li>- Analisar as tarefas;</li> <li>- Especificar os objetivos de desempenho;</li> <li>- Identificar potenciais erros humanos para executar a tarefa;</li> <li>- Modelar o desempenho humano através de árvores de falhas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelar a árvore de eventos;</li> <li>- Determinar para cada tarefa o PSF, dependências e HEP;</li> <li>- Determinar as probabilidades de falhas das tarefas;</li> <li>- Determinar os efeitos de revisão dos erros;</li> <li>- Determinar a contribuição de erros humanos para a probabilidade de falha do sistema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizar análise de sensibilidade;</li> <li>- Incorporar os resultados na análise do sistema</li> </ul>

Tabela 3 – Management and Organizational Factors (MOFs)

<i>MOFs para operações de navio</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carga de Trabalho;</li> <li>- Formalização;</li> <li>- Coordenação de Trabalho;</li> <li>- Cultura Organizacional;</li> <li>- Prêmios, Reconhecimentos e Benefícios;</li> <li>- Recursos Físicos;</li> <li>- Qualidade de Vida;</li> <li>- Avaliação de Performance;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Programas da Empresa;</li> <li>- Seleção de Pessoal;</li> <li>- Rotatividade de Pessoal;</li> <li>- Processo de treinamento;</li> <li>- Atitudes de Supervisores, Sindicatos, Agências Reguladoras, etc.;</li> <li>- Tempo;</li> <li>- Aprendizado Organizacional;</li> <li>- Comunicação Oral ou Escrita.</li> </ul>

A Tabela 4 apresenta algumas vantagens e desvantagens da metodologia

Tabela 4 – Vantagens e desvantagens da THERP (Martins e Maturana, 2010)

Vantagens (IMO, 2018)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Boa ferramenta para comparação relativa de riscos, ou seja, para verificar o efeito de mudanças em procedimentos operacionais ou mesmo comparar a magnitude do risco em plantas diferentes;</li> <li>• Devido ao nível de detalhe requerido, força o analista a ganhar uma profunda visão do sistema e dos potenciais erros humanos envolvidos;</li> <li>• Pode ser utilizada para verificar a participação do erro humano em termos de magnitude de risco, e não necessariamente em termos de probabilidades ou frequências;</li> <li>• Podem ser utilizadas as Árvores de Falhas;</li> <li>• O seu banco de dados pode ser utilizado sistematicamente, permitindo inclusive a inserção de novos dados de erro quando disponíveis.</li> </ul>
Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• É difícil associar uma probabilidade ao erro humano, pois o ser humano pode se corrigir dependendo da situação, antes que o problema ocorra, trazendo incertezas às HEP disponibilizadas (Swain e Guttman, 1983);</li> <li>• Consideração impessoal do erro: duas pessoas não possuem a mesma reação como equipamentos (Swain e Guttman, 1983);</li> <li>• Não consideração de fatores tais como humor, disposição, ânimo, prudência, personalidade (Swain e Guttman, 1983);</li> <li>• Falta de banco de dados específicos para a área química;</li> <li>• Pode exigir recursos intensos, devido ao nível de detalhe requerido para aplicá-la propriamente (IMO, 2018);</li> <li>• Diante das dificuldades em modelar ações humanas utilizando árvores binárias de eventos, este método não considera a dependência entre eventos e entre fatores de desempenho (Hollnagel, 1998).</li> </ul>

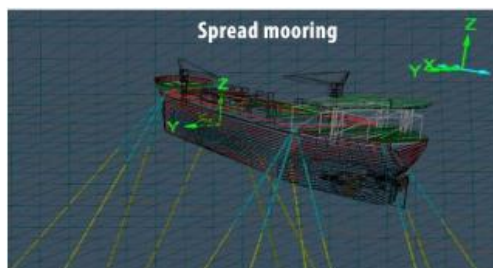


Figura 1 – Sistema de amarração distribuída (Spread Mooring)  
Fonte: Bidgoli, Shahriari e Edalat, 2017

Este FPSO possui a estação de exportação equipada com um sistema composto por um carretel de mangote e um carretel de cabo de amarração (*Hawser*), que ficam situados no convés superior. Este sistema possui engate de amarração de liberação rápida, com monitoramento da tensão e portanto da fixação do cabo de amarração.

O navio tanque aliviador para operar nesse sistema, necessita de um sistema de posicionamento dinâmico (DP) classe 2. Conforme Dong, Vinnem e Utne (2017), um navio DP mantém sua posição e direção através de propulsores ativos. Segundo a IMO (2017) uma embarcação DP2 é equipada com um sistema onde todos os componentes possuem redundância, para que caso haja alguma falha, o posicionamento será mantido.

Após a chegada do petroleiro, o mesmo é amarrado em *tandem* com o FPSO por meio de um cabo de alta capacidade de carga chamado *Hawser*. Este *Hawser* fica preso permanentemente ao engate de amarração de liberação rápida no lado do FPSO. De acordo com Chen e Moan (2004) e Hagen (2018), amarração em *tandem* se dá quando o navio aliviador está posicionado a uma distância atrás do FPSO (Figura 2). Devido ao FPSO em análise ser spread mooring, ele possui estação de carregamento na proa e na popa, sendo assim, a amarração em *tandem* pode ser executada atrás ou à frente do FPSO.

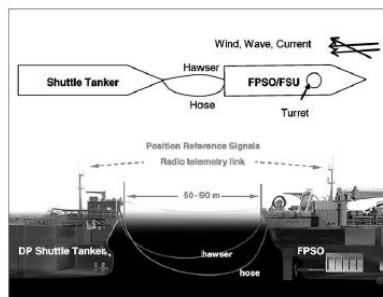


Figura 2 – Descarregamento em tandem  
Fonte: Chen e Moan, 2004

O óleo produzido é transportado do FPSO ao navio através de um arranjo de mangotes flutuantes. O *Hawser* e o mangote são acomodados em carretéis dedicados. O sistema de engate de liberação rápida permite a rápida desconexão do FPSO e do navio tanque em caso de emergência.

Para aumentar a janela de operação do navio tanque aliviador sem ter que desconectar, o navio tanque está autorizado a “fazer a rotação de sua proa”. A rotação da proa significa que o navio tanque aliviador pode ter uma diferença de aproamento em relação à linha central do FPSO durante a operação dentro da Zona verde operacional indicada na Figura 3. O ponto de rotação encontra-se na proa do petroleiro.

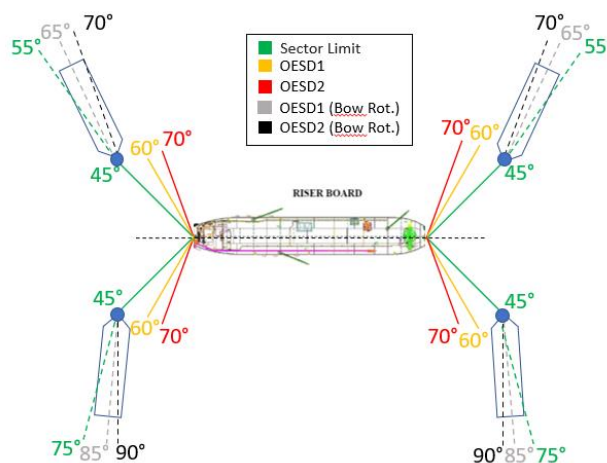


Figura 3 – Rotação de Proa do Navio tanque aliviador  
Fonte: Manual de Operação do estudo de caso

Obs: OESD (*Emergency Shutdown Procedure* – Procedimento de Parada de Emergência)

A diferença de aproamento permitida com a linha central do FPSO é diferente para bombordo e boreste da linha central devido a localização dos *risers* (tubulações que ligam o fundo do mar ao FPSO).

Lado bombordo (*riser*):



- Rotação máxima permitida até 45° - 65°;
- OESD1 (rotação do arco) para de bombear entre 65° - 70°;
- OESD2 (rotação do arco) desconecta acima de 70°.

Lado boreste:

- Rotação máxima permitida até 45° - 85°
- OESD1 (rotação do arco) para de bombear entre 85° - 90°;
- OESD2 (rotação do arco) desconecta acima de 90°.

O navio tanque aliviador pode girar em arco em qualquer ponto entre a linha central e a linha de fronteira de 45° da Zona verde operacional. Não tem que estar necessariamente na linha de fronteira de 45°. Para a execução dessa operação são envolvidas muitas etapas dependentes do operador, que caso haja alguma falha, as piores consequências podem levar a impactos elevados as pessoas, instalações e meio ambiente. Assim é entendido que esta manobra requer uma tratativa criteriosa, sendo o objeto alvo para este estudo de caso.

Neste estudo, a etapa de familiarização foi executada através do levantamento das informações referente a manobra de amarração e exportação de óleo para o navio tanque, estas informações tratam-se do fluxo do processo e procedimento operacional, além desses pontos foram analisados artigos referente a sistemas de amarração do FPSO e navio tanque aliviador, sistema de posicionamento do navio tanque e aplicação da metodologia THERP (Polo, 2013; Chen e Moan, 2004; Dong, Vinnem e Utne, 2017; Rodriguez, Souza e Martins, 2009; Zhang, Tan e Afazl, 2020; Hagen, 2018; Maturana, 2010; Martins e Maturana, 2010).

Após a análise foi feito uma visita ao FPSO, onde observou-se a operação e as interfaces homem-máquina, além da execução de entrevistas com os operadores e supervisores, constatando que a manobra possui poucas automações, sendo este dependente das ações humanas.

### 3.2 Análise Qualitativa

Para a análise qualitativa, foi necessário elaborar uma descrição das atividades executadas pelos operadores, essa descrição ocorreu durante a fase de observação das tarefas, este ponto é muito importante para correlacionar as ações realmente executadas, com o que está descrito no procedimento operacional, visando encontrar quais eventos podem ser desencadeados na execução do procedimento ou na execução de ações não informadas no procedimento.

Foram verificados os seguintes pontos durante a execução de cada tarefa:

1. Objetivos e descrição da atividade;
2. Sinais e identificação de início e fim da atividade;
3. Disponibilidade de material para a execução da atividade;
4. Se eram tarefas rotineiras ou esporádicas;
5. Quais as características exigidas para a execução como percepção e antecipação;
6. Qual a memória requerida;
7. Dificuldades de manipulação;
8. Prováveis erros e em quais momentos;
9. Possibilidade de detecção do erro e correção;
10. Condições ambientais como, temperatura, umidade, barulho, vibração, etc.);
11. Preparação recebida pelos operadores para execução da atividade;
12. Tempo de descanso e de trabalho;
13. Execução de mais de uma atividade ao mesmo tempo.

Após a conclusão das verificações, foi possível relacionar o evento de falha no descarregamento de óleo cru, com o erro na execução da tarefa, através da elaboração da árvore de falhas. A Figura 4 apresenta a árvore de falhas e em cinza os eventos básicos. Durante a análise da atividade detectou-se que o processo de produção possui muitas etapas ruins, tendo os painéis de controle com acionamento dependente de ação humana.



Na análise quantitativa, foram utilizados os eventos básicos da árvore de falhas, esses eventos correspondem as falhas nas tarefas que necessitam ser executadas. Para esta análise foi modelado uma árvore de eventos para cada evento básico, utilizando todas as atividades que fazem parte de cada tarefa e sua cronologia. Visto que há uma dificuldade em encontrar banco de dados de erro humano, as utilizadas nesse estudo foram extraídas de Swain e Guttman (1983), que se referem a atividades no setor nuclear, com isso, foram executadas comparações com as atividades desenvolvidas no FPSO em análise. Durante essas comparações algumas atividades tiveram correlações diretas, enquanto outras necessitaram de algumas aproximações.

Abaixo da Tabela 5 à Tabela 15 encontram-se as árvores de eventos e suas respectivas probabilidades de falha, estas probabilidades foram obtidas através da soma das probabilidades dos cenários vermelhos.

Tabela 5 – Árvore de Eventos – Evento base 6

6 Falha no alinhamento da bomba de carga							
FPSO	Elegir a bomba à ser alinhada	Informar operador via rádio	Compreensão do interlocutor	Alinhamento das válvulas	Drenar a bomba	Acionar a bomba	Falha no alinhamento da bomba de carga
Indústria nuclear	Diagnóstico	Diagnóstico	Lembrar de uma instrução oral	Ação baseada em procedimento	Ação baseada em procedimento	Ação baseada em procedimento	
HEP	0,01	0,01	0,003	0,05	0,05	0,05	

Tabela 6 – Árvore de Eventos – Evento base 7

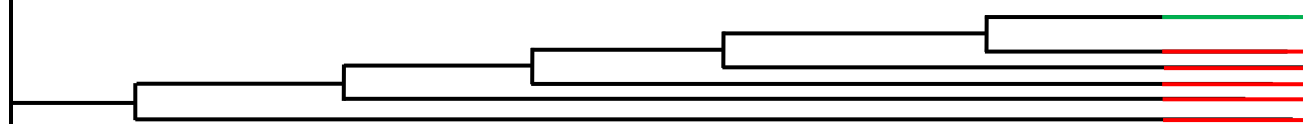
7 Falha no lançamento dos mensageiros do mangote						
FPSO	Informar ao navio petroleiro da conclusão da amarração	Compreensão do interlocutor	Navio Petroleiro posiciona o navio	Transferência do cabo mensageiro do FPSO para o navio petroleiro	Amarração do cabo mensageiro	Falha no lançamento dos mensageiros do mangote
Indústria nuclear	Diagnóstico	Lembrar de uma instrução oral	Ação baseada em procedimento	Ação baseada em procedimento	Ação baseada em procedimento	
HEP	0,01	0,003	0,05	0,05	0,05	
						

Tabela 7 – Árvore de Eventos – Evento base 8

8 Falha na retirada do pino de segurança do carretel do mangote							
FPSO	Solicitar ao operador1 o acionamento da unidade hidráulica	Compreensão do interlocutor	Acionar a unidade hidráulica	Operador1 solicita ao operador2 a retirada do pino de segurança	Compreensão do interlocutor	Retirada do pino de segurança	Falha na retirada do pino de segurança do carretel do mangote
Indústria nuclear	Diagnóstico	Lembrar de uma instrução oral	Ação baseada em procedimento	Ação baseada em procedimento	Lembrar de uma instrução oral	Ação baseada em procedimento	
HEP	0,01	0,003	0,05	0,05	0,003	0,05	

Tabela 8 – Árvore de Eventos – Eventos base 10 e 15

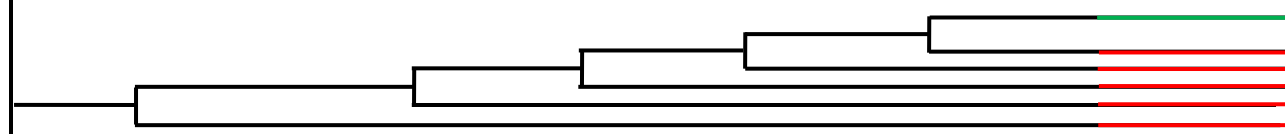
10 e 15 Falha no preenchimento da lista de verificação de segurança da exportação						
FPSO	Receber a informação de data e hora da chegada do navio petroleiro	Selecionar checklist	Compreensão do checklist	Inspeção visual pelo sistema	Revisar informação e tomar decisão	Falha no preenchimento da lista de verificação de segurança da exportação
Indústria nuclear	Diagnóstico	Usar checklist tarefa rotineira	Diagnóstico	inspeção "walk-around"	Diagnóstico	
HEP	0,01	0,1	0,01	0,0001	0,01	
						

Tabela 9 – Árvore de Eventos – Eventos base 11 e 16

11 e 16 Falha no preenchimento da lista de verificação pré-partida da exportação					
FPSO	Selecionar checklist	Compreensão do checklist	Inspeção visual pelo sistema	Revisar informação e tomar decisão	Falha no preenchimento da lista de verificação pré-partida da exportação
Indústria nuclear	Usar checklist tarefa rotineira	Diagnóstico	inspeção "walk-around"	Diagnóstico	
HEP	0,1	0,01	0,0001	0,01	



Tabela 10 – Árvore de Eventos – Eventos base 12 e 17

12 e 17 Falha no preenchimento da lista de verificação de preparação para exportação					
FPSO	Selecionar checklist	Compreensão do checklist	Ler o painel de controle	Revisar informação e tomar decisão	Falha no preenchimento da lista de verificação de preparação para exportação
Indústria nuclear	Usar checklist tarefa rotineira	Diagnóstico	Verificar display	Diagnóstico	
HEP	0,1	0,01	0,006	0,01	

Tabela 11 – Árvore de Eventos – Evento base 13

13 Falha no lançamento dos mensageiros do cabo de amarração								
FPSO	Comunicação com o navio petroleiro	Compreensão do interlocutor	Navio Petroleiro posiciona o navio	Navio Petroleiro lança a retinida	Transferência do cabo da retinida do navio petroleiro para o FPSO	Acoplamento do cabo da retinida no guincho	Amarração do cabo mensageiro	Falha no lançamento dos mensageiros do mangote
Indústria nuclear	Diagnóstico	Lembrar de uma instrução oral	Ação baseada em procedimento	Ação baseada em procedimento	Ação baseada em procedimento	Ação baseada em procedimento	Ação baseada em procedimento	
HEP	0,01	0,003	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	

Tabela 12 – Árvore de Eventos – Evento base 18

18 Falha na conexão de água					
FPSO	Informar operador via rádio	Compreensão do interlocutor	Revisar informação e tomar decisão	Conectar sistema de transferência de água	Falha na conexão de água
Indústria nuclear	Diagnóstico	Lembrar de uma instrução oral	Diagnóstico	Ação baseada em procedimento	
HEP	0,01	0,003	0,01	0,05	

Tabela 13 – Árvore de Eventos – Evento base 19

19 Falha no alinhamento da bomba de água						
FPSO	Informar sala de controle	Compreensão do interlocutor	Ler o painel de controle	Revisar informação e tomar decisão	Acionar o sistema	Falha no alinhamento da bomba de água
Indústria nuclear	Diagnóstico	Lembrar de uma instrução oral	Verificar display	Diagnóstico	Ação baseada em procedimento	
HEP	0,01	0,003	0,006	0,01	0,05	

Tabela 14 – Árvore de Eventos – Evento base 20

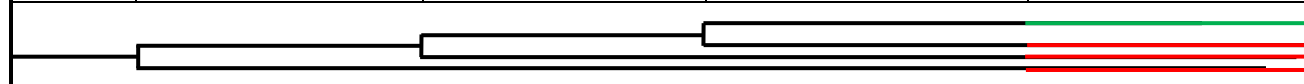
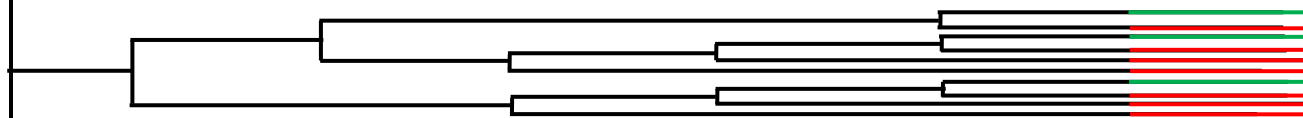
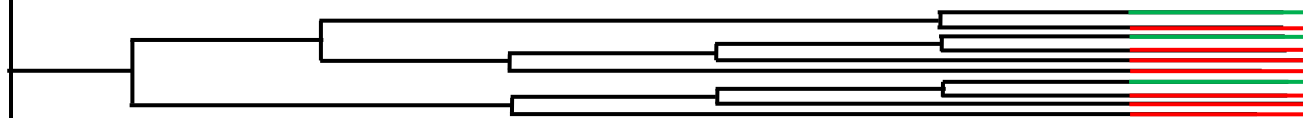
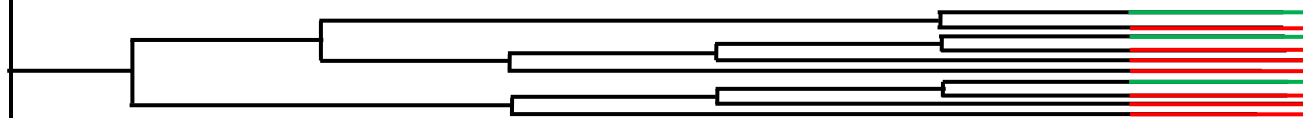
20 Falha em estabelecer a vazão combinada de óleo				
FPSO	Comunicação com o navio petroleiro	Compreensão do interlocutor	Revisar informação e tomar decisão	Falha em estabelecer a vazão combinada de óleo
Indústria nuclear	Diagnóstico	Lembrar de uma instrução oral	Diagnóstico	
HEP	0,01	0,003	0,01	2,28E-02
				

Tabela 15 – Árvore de Eventos – Evento base 21

21 Falha na atividade de monitoramento durante a exportação						
FPSO	Ler o painel de controle	Revisar informação e tomar decisão	Inspeção visual	Revisar informação e tomar decisão	Realizar atividade	Falha na atividade de monitoramento durante a exportação
Indústria nuclear	Verificar display	Diagnóstico	inspeção "walk-around"	Diagnóstico	Ação baseada em procedimento	
HEP	0,006	0,01	0,0001	0,01	0,05	
						
						
						

Conforme informado na Tabela 4, é difícil associar uma probabilidade ao erro humano, devido a sua capacidade de se corrigir dependendo da situação, trazendo incertezas para as HEPs, porém, a ferramenta fornece uma forma de comparação de riscos associados a mudanças de procedimentos operacionais.

### 3.4 Incorporação

Apesar da metodologia apresentar a etapa 4 “incorporação”, a mesma não foi aplicada nesse estudo, uma vez que o foco desta análise era a contribuição do fator humano em manobras de descarregamento de um FPSO para navio tanque aliviador, com o objetivo de identificação da tarefa com maior probabilidade de falha.

Contudo, a aplicação da metodologia até a etapa 3 “análise quantitativa” já nos forneceu a informação buscada neste trabalho.

## 4. DISCUSSÃO

Baseado nas HEPs dos eventos básicos informadas nas tabelas de 5 à 15 foi elaborado o gráfico da Figura 5, com o intuito de ranquear os eventos conforme suas probabilidades. Como pode-se verificar na Figura 5, o evento com maior probabilidade de falha é o evento 13 (Falha no lançamento dos messageiros do cabo de amarração). A fim de identificar a contribuição dessas tarefas ao evento topo, aplicou-se uma análise de sensibilidade utilizando uma variação de 10% nas HEPs, conforme Tabela 16.

Através da análise de sensibilidade conseguimos determinar o impacto do evento básico 13 (Falha no lançamento dos messageiros do cabo de amarração) na probabilidade do evento topo (Falha no descarregamento de óleo cru). Visando estabelecer recomendações mais assertivas para a redução do risco, foi desenvolvido o gráfico da Figura 6, ranqueando as atividades referente ao evento 13.

Após a elaboração deste ranqueamento, entende-se que as atividades com maior HEPs são relacionadas as ações baseadas em procedimento, sendo a maioria delas correlacionadas a retinida. Como recomendação preliminar sugere-se que o lançamento da retinida seja executado do FPSO para o navio tanque aliviador, pois assim, o FPSO consegue controlar a localização do cabo da retinida, não tendo a necessidade de deslocamento do time para acoplamento ao guincho, além da possibilidade de pré-conexão do cabo mensageiro ao cabo da retinida. Ressaltando que esta recomendação é preliminar e mais estudos estão em andamento.

## 5. CONCLUSÃO

Conforme API 770 (2001) 90% da probabilidade de falha de sistemas são originárias em fatores humanos e de acordo com Rodriguez, Souza e Martins (2009) baseado na análise de acidentes marítimos, 8% são relativos a atividades de carga e descarga de navios tanque aliviadores.

Neste artigo, foram identificadas as tarefas com maior probabilidade de falha em manobras de descarregamento de um FPSO para um navio tanque aliviador, através da análise da falha humana aplicando 3 etapas da metodologia THERP, sendo elas a familiarização, análise qualitativa e análise quantitativa.

Após a aplicação dessas etapas foi possível identificar, que a tarefa com maior probabilidade de falha ( $2,36 \cdot 10^{-1}$ ) é a “13-Falha no lançamento dos mensageiros do cabo de amarração” que envolve a comunicação entre o FPSO e o navio petroleiro, levando ao operador a necessidade de diagnóstico, lembrar de instrução oral, ações operacionais baseada em procedimento.

Dado que a atividade observada é executada somente por operadores, com o processo basicamente manual, a atenção se torna um fator primordial para o sucesso da manobra. Como pode-se verificar na árvore de falhas, a maioria dos portões da análise são “ou” deixando claro que o processo é frágil (há muitas possibilidades para a falha), dependendo basicamente da atenção do operador.

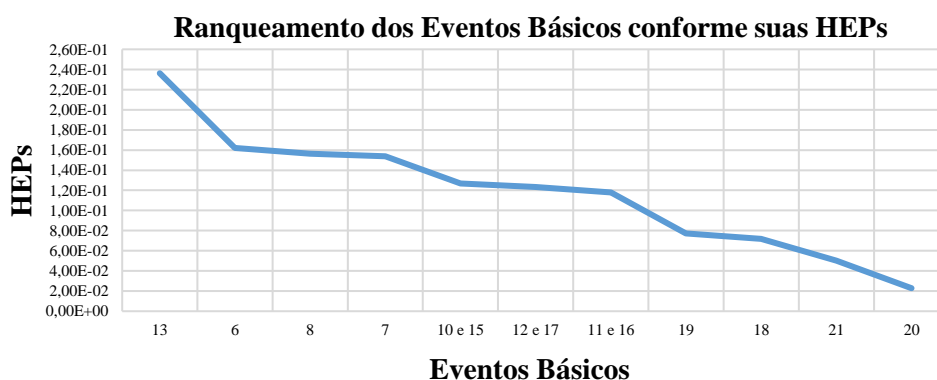


Figura 5 – Ranqueamento dos eventos base conforme suas HEPs

Tabela 16 – Análise de Sensibilidade ao *Human Error Probability* (HEP) para os Eventos Base

Eventos Base	HEP	Sensibilidade	Probabilidade evento topo	
13 Falha no lançamento dos mensageiros do cabo de amarração	2,36E-01	2,60E-01	9,58E-01	-3%
6 Falha no alinhamento da bomba de carga	1,62E-01	1,78E-01	9,50E-01	-2%
8 Falha na retirada do pino de segurança do carretel do mangote	1,56E-01	1,72E-01	9,50E-01	-2%
7 Falha no lançamento dos mensageiros do mangote	1,54E-01	1,69E-01	9,50E-01	-2%
10 e 15 Falha no preenchimento da lista de verificação de segurança da exportação	1,27E-01	1,40E-01	9,35E-01	0%
12 e 17 Falha no preenchimento da lista de verificação de preparação para exportação	1,23E-01	1,36E-01	9,35E-01	0%
11 e 16 Falha no preenchimento da lista de verificação pré-partida da exportação	1,18E-01	1,30E-01	9,35E-01	0%
19 Falha no alinhamento da bomba de água	7,73E-02	8,50E-02	9,42E-01	-1%
18 Falha na conexão de água	7,17E-02	7,89E-02	9,41E-01	-1%
21 Falha na atividade de monitoramento durante a exportação	5,02E-02	5,52E-02	9,39E-01	-1%
20 Falha em estabelecer a vazão combinada de óleo	2,28E-02	2,51E-02	9,36E-01	0%

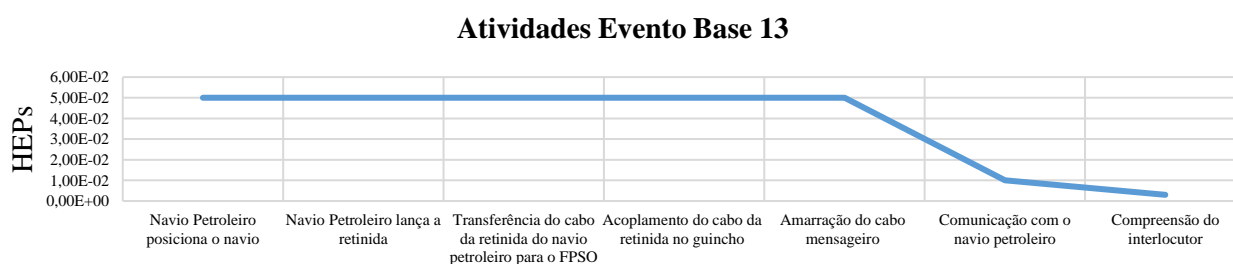


Figura 6 – Ranqueamento das atividades do Evento Básico 13

## 6. REFERÊNCIAS

- API – American Petroleum Institute. 770, *A Manger's Guide to Reducing Human Error Improving Human Performance in the Process Industries*, 2001.
- BHARDWAJ, U., SOARES, C. G., TEIXEIRA, A. P., *Analysis of FPSO accident and incident data*, 2017.
- CCPS – Center for Chemical Process Safety, *Guidelines for Preventing Human Error in Process Safety*. New York, 1994.
- CHEN, H., MOAN, T., *Probabilistic modeling and evaluation of collision between shuttle tanker and FPSO in tandem offloading, Reliability Engineering and System Safety* 84(2), 169–186, 2004.
- DONG, Y., VINNEM, J. E., UTNE, I. B., *Improving safety of DP operations: learning from accidents and incidents during offshore loading operations*. Germany, 2017.
- HAGEN, S. A., *Damage Assessment of Sevan 1000 FPSO Subjected to Impacts from Shuttle Tankers, Master Thesis Spring*. Norwegian University of Science and Technology. Norway, 2018.
- HOLLNAGEL, E., *Cognitive Reliability and Error Analysis Method: CREAM*, 1998.
- IMO – International Maritime Organization. *Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO Rule-Making Process*. London, 2018.
- IMO – International Maritime Organization. *Guidelines for Vessels and Units with Dynamic Positioning (DP) Systems*. London, 2017.
- MATURANA, M. C., MARTINS, M. R., *Human Error Contribution in Collision and Grounding of Oil Tanker, Risk Analysis*, Vol. 30, N° 4, 2010.
- MATURANA, M. C., *Aplicação de Redes Bayesianas na Análise da Contribuição do Erro Humano em Acidentes de Colisão*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.
- POLO, R. O. F., *OPERAÇÃO DE OFFLOADING: operação de alívio em um FPSO com navio convencional*. Monografia Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Náutica – APNT. Centro de Instrução Almirante Graça Aranha. Rio de Janeiro, 2013.
- RODRIGUEZ, C. E. P., SOUZA, G. F. M., MARTINS, M. R., *Risk-based analysis of offloading operations with FPSO production units. Proceedings of the 20th International Congress of Mechanical Engineering*. Gramado, 2009.
- SWAIN, A. D., GUTTMANN, H. E., *Handbook of Human-Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications*, Albuquerque, Sandia National Laboratories, 1983.
- VINNEM, J. E., UTNE, I. B., SCHJØLBERG, I., *On the need for online decision support in FPSO–shuttle tanker collision risk reduction*. Norway, 2015.
- ZHANG, R., TAN, H., AFZAL, W., *A modified human reliability analysis method for the estimation of human error probability in the offloading operations at oil terminals*. Beijing, 2020.