

Pós-Graduação

Segurança de Processos



APLICAÇÃO DA ENGENHARIA DE FATORES HUMANOS EM NOVOS PROJETOS DE INSTALAÇÕES DE PRODUÇÃO OFFSHORE

Fábio L. Rossi, Rodrigo S. Durand, Thenisson G. L. S. Santos e Waldir Ried

RESUMO

Através da análise de grandes cenários de acidentes de segurança de processo em instalações offshore, em associação com o escopo previsto no Anexo D do Relatório 454 do IOGP foi realizada uma avaliação das atividades de projeto que mais contribuíram para a ocorrência desses eventos, possibilitando o desenvolvimento de uma proposta de quesitos para orientar a aplicação da Engenharia de Fatores Humanos durante as fases de projeto de novas unidades de produção offshore, minimizando o potencial de risco durante a sua operação. A partir de tal premissa, foram elaborados sete questionários para avaliar a conformidade dos elementos de projeto as diretrizes do anexo D do relatório 454 da IOGP a serem aplicados durante os portões (gates) das etapas da Metodologia Front End Loading (FEL).

Palavras-chave: *Segurança de processos, Fatores Humanos, Ergonomia, Projetos*

ABSTRACT

Through the analysis of major process safety accidents in offshore facilities, in association with the scope outlined in Annex D of IOGP Report 454, an assessment of design activities that most contributed to the occurrence of these events was carried out, enabling the development of a criteria to guide the application of Human Factors Engineering during the design phases of new offshore production units, thereby minimizing potential operation risks. Based on this premise, seven questionnaires were formulated to assess the compliance of the design elements with the guidelines of Annex D of the IOGP report 454, to be applied during the gates of the Front End Loading Methodology (FEL).

Keywords: *Process Safety, Human Factors, Ergonomics, Projects.*

SIGLAS

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APR	Análise Preliminar de Riscos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CCPS	Centro de Segurança para Processos Químicos (<i>Chemical Center for Process Safety</i>)
CCR	Sala de Controle Central (<i>Central Control Room</i>)
CRIOP	Intervenção e Operabilidade em Crises (<i>Crisis Intervention and Operability</i>)
DCS	Sistemas de Controle Distribuído (<i>Distributed Control System</i>)
EFH	Engenharia de Fatores Humanos (<i>Human Factors Engineering</i>)
E&P	Exploração & Produção de Petróleo e Gás Natural
FEED	Projeto de Engenharia Pré Detalhamento (<i>Front End Engineering Design</i>)
FH	Fatores Humanos (<i>Human Factors</i>)
FPSO	Unidade Flutuante de Produção e Armazenamento e Transferência de Petróleo (<i>Floating, Production, Storage and Offloading</i>)
HAZOP	Estudos de Perigos e Operabilidade (<i>Hazard and Operability</i>)
HSE	Executivo de Saúde e Segurança / Agência do Reino Unido (<i>Health and Safety Executive / UK</i>)
IHM	Interface Homem-Máquina
IOGP	Associação Internacional dos Produtores de Óleo e Gás (<i>International Association of Oil and Gas Producers</i>)
MAHs	Perigos de Acidentes Maiores (<i>Major Accident Hazards</i>)
NBR	Normas Brasileiras
PG	Prática de Gestão
PIFs	Fatores Influenciadores de Desempenho (<i>Performance Influencing Factors</i>)
PIFH	Plano Integrado de Fatores Humanos (<i>Human Factors Integration Plan</i>)
PLC	Controladores lógicos programáveis (<i>Programmable Logic Controller</i>)

RPFH	Registro de Problemas de Fatores Humanos (<i>Human Factors Issues Register</i>)
SCTA	Análise da Tarefa Crítica à Segurança (<i>Safety Critical Task Analysis</i>)
SGSO	Sistema de Gestão e Segurança Operacional
TRA	Análise de Requisitos da Tarefa (<i>Task Requirements Analysis</i>)

1. INTRODUÇÃO

Os projetos associados a construção de instalações de produção *offshore* do tipo FPSO (*Floating, Production, Storage, and Off-loading*) destinadas para o processamento, armazenagem e transferência de petróleo, apresentam alta complexidade e potencial de geração de riscos para pessoas, meio ambiente, patrimônio e imagem da empresa.

Grandes acidentes de segurança de processo como o da plataforma *Piper Alpha* ocorrido em 1988 no Mar do Norte (Reino Unido), o *blowout* em Macondo ocorrido em abril de 2010 nos Estados Unidos, bem como os acidentes nas plataformas de produção P-36 (ANP, 2001) e FPSO Cidade de São Mateus (ANP, 2015) alertam para a necessidade de compreender melhor a interação entre pessoas, equipamentos, tecnologia, aspectos ligados a cultura da organização e apontam para causas relacionadas aos Fatores Humanos (FH) e à Engenharia de Fatores Humanos (EFH).

Neste contexto, percebe-se também uma intensificação na fiscalização por parte dos órgãos reguladores, tais como, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) no sentido de identificar oportunidades de melhorias no sistema de gestão das empresas por meio de auditorias com base no Regulamento SGSO - Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional (ANP, 2007), que apresenta em seu conteúdo a necessidade de atendimento às práticas de gestão PG-4 (Ambiente de Trabalho e Fatores Humanos) e PG-12 (Identificação e Análise de Riscos) que abordam aspectos relacionados a fatores humanos. Desta forma, embora o atendimento aos requisitos legais indicados terem aprimorado o conhecimento e atuação das empresas na temática de fatores humanos, observou-se um movimento direcionado principalmente para a aplicação da análise de confiabilidade humana na etapa de operação das instalações, portanto, ainda se identificam oportunidades de melhorias na gestão e no desempenho de segurança das empresas em relação a observância dos conceitos e requisitos normativos associados à Engenharia de Fatores Humanos na etapa de projetos.

Diagnóstico das auditorias realizadas pela ANP também apontam para a necessidade de aprimoramento do tema e indicam não conformidades recorrentes ou até mesmo com tratamento ineficaz evidenciando lacunas relacionadas a implantação da EFH na etapa de projeto e necessidade de aderência ao escopo previsto no Anexo D do Relatório 454 (IOGP, 2020).

Através da análise de grandes cenários de acidentes de segurança de processo em instalações *offshore*, em associação com o escopo previsto no Anexo D do Relatório 454 (IOGP, 2020) será feita uma avaliação das atividades de projeto que mais contribuíram para a ocorrência desses eventos, possibilitando desenvolver uma proposta de diretrizes para auxiliar na aplicação da Engenharia de Fatores Humanos durante as fases de projeto de novas unidades de produção *offshore*, minimizando o potencial de risco durante a etapa de operação.

Este trabalho tem como objetivo geral a elaboração de uma lista de quesitos a ser atendida pela etapa de projeto tendo como base o relatório da IOGP 454. Mais especificamente atuando nas 7 (sete) atividades previstas no anexo D do respectivo relatório.

Não teve como foco deste trabalho a aplicação e/ou desdobramento na análise de confiabilidade humana.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Fatores Humanos e a Engenharia de Fatores Humanos

Os Fatores Humanos (FH) estão relacionados aos aspectos individuais, tecnológicos e organizacionais que influenciam o comportamento humano na execução de atividades que possam afetar a Segurança Operacional (ANP, 2022). Já a Engenharia de Fatores Humanos (EFH) se concentra na aplicação do conhecimento de fatores humanos para o projeto e construção de sistemas sociotécnicos. Observa-se ainda na indústria uma falta de entendimento conceitual entre FH e EFH, já que estes conceitos foram incorporados de forma recente na legislação brasileira e nas boas práticas de engenharia.

O objetivo é garantir que os sistemas sejam projetados de forma a otimizar a contribuição humana para a produção e minimizar o potencial de indução de riscos à saúde, segurança pessoal ou de processo ou desempenho ambiental (IOGP, 2020).

A aplicação da EFH considera as capacidades e limitações das pessoas e usa essas informações para garantir uma estrutura ideal do local de trabalho, sistemas, equipamentos e ambiente. É focada principalmente nos aspectos físicos do local de trabalho, incluindo garantir que o equipamento seja facilmente acessível, operável e de fácil manutenção.

2.2 Arcabouço Regulatório

Dentro do arcabouço da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) observa-se, atualmente, os regulamentos identificados na figura 1, onde destacam-se:

SGSO - Primeiro regulamento de segurança operacional do Brasil, composto por 17 práticas orientadas ao desempenho e à gestão de risco aplicáveis a instalações marítimas de perfuração e produção de petróleo e gás natural.

SGPI – Tem como foco a Segurança Operacional para Integridade de Poços de Petróleo e Gás Natural, estabelecendo medidas e procedimentos para avaliação da integridade mecânica dos equipamentos, operação segura das instalações e proteção das pessoas e do meio ambiente.

SGSS – Regulamento está dividido em 21 capítulos técnicos que compõem o sistema de gerenciamento de segurança operacional para sistemas submarinos, da fase de projeto à desativação.

RTDT – O Regulamento Técnico de Dutos Terrestres estabelece os requisitos essenciais e os mínimos padrões de segurança operacional para os dutos terrestres (oleodutos e gasodutos), incluindo os submersos, visando à proteção do público em geral, da força de trabalho da companhia operadora e das instalações e do meio ambiente.

SGI – Regulamento aplicável ao Sistema de Gerenciamento da Integridade Estrutural, visando à Segurança Operacional das Instalações terrestres de produção de petróleo e gás natural. Detalha em dois capítulos (2 e 3) os requisitos necessários para implementação deste.

Figura 1 – Regulamentos técnicos de segurança operacional



Fonte: ANP (2022)

Visando elevar o nível de segurança da indústria de Exploração e Produção (E&P) brasileira, a ANP criou, em 2021, uma coordenadoria de fatores humanos na sua estrutura,

para avaliar de forma minuciosa do nível de implementação dos requisitos relacionados aos diferentes aspectos de fatores humanos na indústria de óleo e gás.

Abaixo, é apresentada uma seleção dos itens do regulamento técnico “Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional das Instalações Marítimas de Perfuração e Produção de Petróleo e Gás Natural” (SGSO, 2007) associados a FH e direcionado as etapas de projeto:

“Prática de Gestão 4 (Ambiente de Trabalho e Fatores Humanos)

O Operador da Instalação terá como atribuição:

4.2.1 Analisar os aspectos de ambiente de trabalho considerando os fatores humanos em todas as fases do ciclo de vida da Instalação e de seus sistemas, estruturas e equipamentos;

4.2.1.1 Nas fases de projeto, construção, instalação e desativação, deverão ser identificados e considerados códigos e padrões relativos aos aspectos de ambiente de trabalho e de FH.

Prática de Gestão 10 (Projeto, Construção, Instalação e Desativação)

O Operador da Instalação deverá estabelecer um sistema de forma que:

b) FH relativos ao ambiente de trabalho sejam levados em consideração na fase de projeto da Instalação e em suas revisões subsequentes nas fases de projeto, construção, instalação e desativação.

Prática de Gestão 12 (Metodologia de Identificação e Análise de Riscos)

e) considerar *layout*, FH e causas externas, conforme aplicável;”

Atualmente a ANP vem realizando *Workshops* e reuniões, assim como, audiências públicas com o objetivo de validar uma nova proposta de arcabouço regulatório de segurança operacional para as instalações de exploração e produção de petróleo e gás natural (E&P), esperando-se que as cinco resoluções atualmente vigentes sejam consolidadas em uma única resolução e um único regulamento técnico anexo, com o conjunto das práticas de gestão válido para qualquer tipo de instalação. A proposta de revisão terá como base as lições aprendidas das atividades de fiscalização e investigação

de incidentes, assim como, a realização de extenso *benchmarking* com instituições de diversos países como Austrália, EUA, Noruega e Reino Unido (ANP, 2023).

2.3 O Relatório IOGP 454

O Relatório IOGP 454 de junho de 2022 é uma publicação que foi desenvolvida em conjunto pelo *Energy Institute* (EI) e pela *International Association of Oil and Gas Producers* (IOGP), e substitui a primeira edição do IOGP 454 – Engenharia de fatores humanos em projetos. Esta publicação foi atualizada principalmente com a intenção de garantir que a orientação seja aplicável a projetos de grande e pequena escala e para fornecer orientação adicional e exemplos para ajudar os operadores a realizarem a EFH em seus projetos.

As orientações do relatório IOGP 454 destinam-se principalmente a leigos em fatores humanos, gerentes de projeto, líderes técnicos (e de segurança) e engenheiros seniores em organizações responsáveis pelo planejamento e gerenciamento de projetos de engenharia e atividades de projeto, e ao pessoal empregado por operadores de instalações, empreiteiros de *design* de engenharia de *front-end* (FEED) e de aquisição e construção de engenharia (EPC), fornecedores de equipamentos e outros empreiteiros de engenharia.

Nesta publicação, em seu Anexo D se encontram as informações resumidas sobre as principais atividades da EFH, normalmente executadas durante o ciclo de vida do projeto de uma instalação industrial. Nesse anexo são apresentadas as seguintes atividades:

1. Análise de Requisitos de Tarefas;
2. Análise da criticidade de válvulas;
3. Triagem e revisão de pacotes dos fornecedores;
4. Análise e revisão do projeto da sala de controle;
5. Análise e revisão das interfaces homem-máquina;
6. Análise e revisão dos sistemas de alarme;

7. Revisão do projeto de *layout* da instalação industrial.

2.4 Grandes acidentes e o Relatório IOGP 454

O risco da ocorrência de grandes acidentes deve ser identificado a tempo de permitir uma avaliação, compreensão de suas prováveis consequências e definição de medidas de controle que o conduzam para uma região ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*), desta forma, a possibilidade de propor ações preventivas já na fase de projeto de uma instalação offshore torna-se fundamental.

Grandes acidentes podem ser considerados como um evento perigoso que resulta em:

- Múltiplas mortes ou ferimentos graves;
- Danos severos a sistemas (reparação lenta);
- Impactos significativos ao meio ambiente de difícil recuperação.

Verificando-se os principais acidentes de segurança de processo na indústria mundial, podem ser levantados os seguintes questionamentos:

Será que esses acidentes poderiam ser evitados com a aplicação da EFH?

Após uma análise foi constatado que as causas básicas e contribuintes identificadas nos relatórios de investigação de alguns desses acidentes são correlacionadas com as principais atividades de EFH citadas no Anexo D do Relatório IOGP 454. Para exemplificar, destacamos abaixo alguns eventos e as associações que podem ser feitas com as atividades previstas no Anexo D.

Evento de *Piper Alpha* em julho de 1988:

(i) A localização dos *risers* próximo às acomodações agregou um risco maior para esta área e esta falha pode estar associada à atividade 7 do Anexo D - Revisão do projeto de *layout* da instalação.

(ii) Dificuldades no sistema de gerenciamento de segurança, incluindo válvulas de isolamento acessíveis em todos os *risers*, que pode ser associada à atividade 2 - Análise da criticidade de válvulas.

Evento de *Texas City* em 2005:

- (i) O painel de controle não apresentava informações adequadas das vazões (fluxos) da torre para alertar os operadores, constatação que está associada à atividade 6 - Análise e revisão dos sistemas de alarme.
- (ii) Localização de acomodações próximas a materiais perigosos que contribuíram para a ocorrência de fatalidades dentro e ao redor desse local, que pode ser associada à atividade 7 do Anexo D - Revisão do projeto de *layout* da instalação.

Evento de *Macondo* no Golfo do México em abril de 2010:

- (i) A falta de identificação de tarefas críticas, que pode ser associada à atividade 1 - Análise de requisitos de tarefas.
- (ii) Falta de consideração de FH no plano de evacuação que podemos associar à atividade 7 - Revisão do projeto de *layout* da instalação.

2.5 Engenharia de fatores humanos em novos projetos de instalações de produção

Em muitas indústrias de processo pode haver uma concepção generalizada de que a falha humana na execução de tarefas críticas contribuiu para grandes acidentes de segurança de processo (MAHs) como *Piper Alpha*, *Chernobyl* e *Texas City* (SMITH, *et al.*, 2011). Grandes eventos decorrentes de falha de aplicação da EFH na etapa de projetos também podem ser observados no livro “*Human Factors Handbook for Process Plant Operations*” (CCPS, 2022).

Desta forma, analisar as tarefas críticas realizadas nas unidades operacionais *offshore* com foco nos fatores humanos envolvidos significa que a unidade, os sistemas e equipamentos serão projetados de forma efetiva para suportar a realização das tarefas operacionais considerando as capacidades e limitações do humano, desta forma, reduzindo a probabilidade do erro humano para melhoria da eficiência operacional (IOGP 454, 2020).

A análise de tarefas críticas possui diversas modalidades e finalidades, tais como: a determinação de efetivo, o nível de automação requerido ou com foco na capacitação (BERECIARTUA, 2011). Conforme o objetivo da técnica aplicada, itens como aspectos manuais e mentais, duração, elementos, frequência, alocação, complexidade, condições

ambientais, roupas e equipamentos necessários e quaisquer outros fatores exclusivos envolvidos ou necessários para uma ou mais pessoas realizar uma determinada tarefa, podem ser incluídos (AUBIN, 1999).

O método a ser empregado depende da análise do processo produtivo e da identificação dos fatores que interferem na relação entre tecnologia, sistema produtivo e papel desempenhado pelos seus operadores (MELLO, 2011).

Dentre as diversas técnicas de análise de tarefas, uma das mais difundidas é a análise hierárquica de tarefas (AHT), que é uma abordagem voltada para as ações. Uma extensa revisão a respeito da aplicação da metodologia de análise de tarefas no estudo de diversos aspectos dos processos industriais pode ser encontrada no livro *Lee's Loss Prevention in the Process Industries* (MANNAN, 2004).

A AHT é um método sistemático de descrever como o trabalho é organizado de modo a atingir o seu objetivo. Adicionalmente, a análise hierárquica de tarefas trabalha com o conceito de operação, que corresponde a um comportamento definido que deve ser realizado para alcançar o objetivo proposto para a tarefa (ANNETT, 1971).

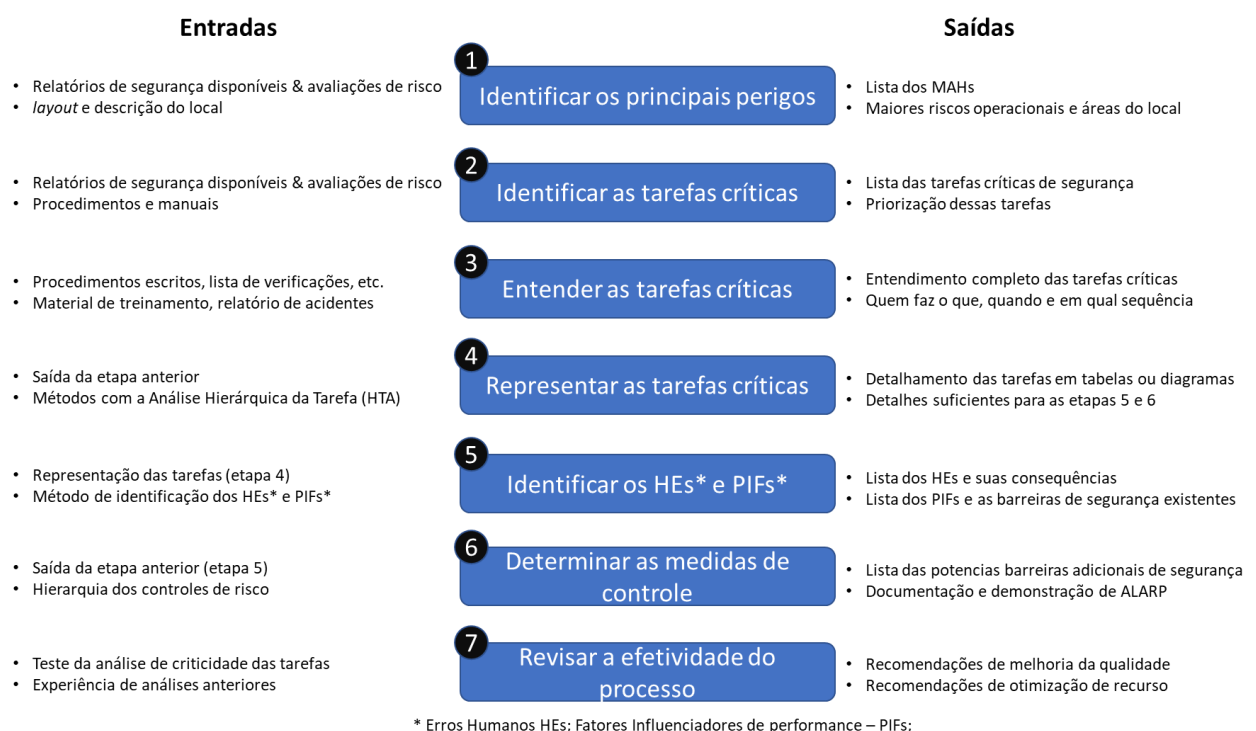
Por sua vez, a Análise de Requisitos da Tarefa (da sigla TRA em inglês – “*Task Requirement Analysis*”), apresentada no anexo D.1 da IOGP 454, é uma forma simplificada de análise da tarefa com objetivo específico de identificar requisitos de projeto. Esses requisitos-chaves identificados podem ser otimizados minimizando o risco das operações. Esta análise também pode suportar estudos posteriores como análises quantitativas de risco.

O documento destaca também que a análise deve ser realizada o mais cedo possível na fase de projeto, na medida que informações necessárias e suficientes nas tarefas de operação e manutenção (O&M) associadas aos equipamentos estão disponíveis (ANNETT, 1971).

Pode ser aplicado em equipamentos novos, críticos para segurança, associados com problemas já conhecidos, tarefas específicas de difícil realização ou críticas à segurança. A equipe de projeto deve avaliar o foco na análise de forma que o resultado seja de valor significativo ao projeto (ANNETT, 1971).

Desta forma, a IOGP 454, anexo D.1. apresenta uma metodologia genérica de análise da tarefa para etapa de projeto. Contudo, a indústria *offshore* apresenta um número bastante grande de tarefas que exigem um tempo considerável para a análise. Portanto, é fundamental a adoção de um critério (ou método) de priorização. O método da análise da tarefa crítica à segurança - SCTA (SMITH, *et al.*, 2011) é apresentado como alternativa, devido ao seu direcionamento ao risco no contexto de projetos complexos. Este método vincula os eventos maiores (MAHs) à análise de tarefas, sugerindo a aplicação dos passos da Figura 2 para sua execução.

Figura 2 - Método da análise da tarefa crítica à segurança – SCTA



Fonte: (SMITH, et al., 2011).

Abaixo serão detalhados os passos apresentados na figura 2.

Etapa 1 – Identificar os principais perigos

Para determinação das tarefas críticas de segurança, inicialmente devem ser identificados os cenários de eventos maiores (MAHs), o que pode ser feito de forma direta a partir dos estudos de risco da unidade (metodologias aplicadas tais como HAZOP e APR). Também é possível a utilização de cenários prescritos, de conhecimento da equipe de projetos em que tarefas críticas estão presentes e em que a intervenção humana aponte procedimentos críticos como salvaguarda.

No caso de novas unidades, é possível adiar a análise até que os riscos maiores tenham sido identificados. Nesta etapa, a utilização da documentação mais atualizada possível e da identificação dos cenários de risco maior é necessária.

Para unidades complexas, onde um número significativo de eventos é identificado, pode ser necessária uma priorização, a qual pode começar com os cenários de maior risco conforme matriz de risco da empresa.

Etapa 2 – Identificar as tarefas críticas

Etapa chave para o bom andamento da análise, em que a definição do que é uma tarefa crítica deve ser feita de alguma forma pela organização. Algumas das possíveis formas são:

- Uma lista já preparada de tarefas críticas com base nos acidentes maiores de documentações existentes do projeto em questão ou de projetos similares já realizados;
- Uma matriz correlacionando os acidentes maiores com os respectivos procedimentos. Vale ressaltar que podem existir tarefas que não estejam previstas em procedimentos e são dignas de análise;
- Uma correlação da consequência da falha humana, complexidade, frequência ou nível de ação humana a tarefas críticas;
- Um sistema de pontuação (priorização) relacionada aos materiais envolvidos, fontes de ignição, entre outros fatores;

Para a etapa de levantamento das tarefas, devem ser observadas tarefas rotineiras, não rotineiras, em condições normais de operação e em condições emergenciais, tendo em vista que elas podem ter o potencial de causar ou agravar o cenário de um evento maior.

No caso de unidades complexas, onde muitas tarefas são identificadas, um critério de priorização pode ser aplicado. A HSE (*Human Factors Assessment of safety critical tasks*, Julho, 2000) propõe um método de seleção/priorização (*screening*) para as tarefas selecionadas, onde se aplicada uma lista de perguntas conforme abaixo:

- O quão perigoso é o sistema envolvido?
 - Refere-se a tarefas com substâncias ou condições intrinsecamente perigosas;

- Qual o nível de fontes de ignição ao longo da realização da tarefa?
 - Refere-se a tarefas que podem produzir fontes de ignição como faíscas entre outros;
- Qual o nível de mudanças na configuração operacional?
 - Refere-se a conexões temporárias, manobra de válvulas, entre outros;
- Qual a extensão do dano no caso da execução incorreta da tarefa?
 - Refere-se ao potencial de dano ou potencial de se atuar como um evento iniciador de acidente;
- Qual o nível de desafio para as camadas de proteção da tarefa?
 - Se refere a desvios de camadas de proteção como alarmes, *trips* entre outros.

Para cada um dos itens, a HSE propõe uma gradação de Alto, médio e baixo para fins de priorização das etapas seguintes.

O relatório RP-0902-5473-NP (NUSCALE POWER, 2014), também apresenta alguns critérios de seleção de tarefas críticas, onde destacam-se:

- Tarefas humanas relacionadas aos procedimentos vinculados a análises de risco;
- Tarefas que, se realizadas de forma incorreta, impactam de forma direta na segurança (não possuem outra barreira);
- Tarefas relacionadas a novos procedimentos de realização significativamente diferentes das usuais;
- Tarefas relacionadas ao monitoramento de sistemas automatizados importantes a segurança;

Nesta etapa, o estabelecimento de critérios de priorização se torna preponderantes, de forma a dimensionar o escopo da análise nas etapas subsequentes. Critérios relacionados a demanda cognitiva (alta complexidade, etapas simultâneas, entre outros) também podem ser aplicados.

Etapa 3 – Entender as tarefas críticas

O objetivo desta etapa é a descrição simplificada da realização da tarefa (o que será feito, por quem e em qual sequência) identificando os fatores influenciadores de performance

(PIFs), tais como condições de trabalho, complexidade, tempo para realização, interfaces, entre outros. Apesar dos procedimentos serem uma importante fonte de informação para esta etapa, a consulta e participação de profissionais que realizaram/realizam essas atividades contribui de forma significativa para ações efetivas da análise.

É fundamental que o grupo que conduza a análise, tenha conhecimento das atividades que serão conduzidas, assim como a participação de um especialista em FH como facilitador, o qual, terá o importante papel de manter o foco do grupo e explorar os problemas que requerem aprofundamento.

Etapa 4 – Representar as tarefas críticas

Esta etapa visa facilitar a etapa de análise, pode ser uma simples listagem das etapas da tarefa (no caso de tarefas simples) utilizando um verbo no início da frase. Doravante, seja necessária a aplicação de uma técnica que melhore a visualização da tarefa, como a Análise Hierárquica de Tarefa que representa as tarefas de forma hierárquica de cima para baixo. Outro produto importante desta etapa é a identificação de subtarefas ou subetapas críticas.

Etapa 5 – Identificar os Erros Humanos (HEs) e os Fatores Influenciadores de Performance (PIFs)

Para realização desta etapa existem dois grupos comuns de abordagem (EI, 2020):

- Aplicação de um conjunto de palavras-chave ou instruções para cada tarefa;
- Usar uma lista de palavras chaves no início da análise para introduzir os tipos de erros de interesse e com base na experiência do grupo, avaliar os fatores que possam levar ao erro humano.

No guia do *Energy Institute* (2020) são apresentados modelos de palavras chaves dentre as quais o líder da análise pode selecionar aquelas mais frequentes ou com maior potencial de risco para aplicação.

Associadas a identificação das falhas, também são avaliadas as barreiras de segurança preventivas e mitigadoras existentes. Para os cenários de eventos maiores, os PIFs também são avaliados, os quais podem incluir fatores organizacionais (pressão,

supervisão, cultura, entre outros), fatores ergonômicos (ferramenta, tempo, treinamento, ambiente, entre outros) e fatores individuais (condição física, estresse, experiência, entre outros).

Etapa 6 – Determinar as medidas de controle

Nesta etapa a equipe deverá avaliar medidas adicionais de controle do risco de forma a reduzir o erro humano na ocorrência de um evento maior ou na minimização de seu impacto.

Uma análise, seguindo a ordem de priorização da solução proposta, conforme itens abaixo pode ser aplicada:

- O perigo pode ser removido ou evitado?
- A atividade humana pode ser removida ou substituída por um sistema automatizado mais confiável?
- As consequências da falha humana podem ser evitadas ou atenuadas por meio de barreiras adicionais mais confiáveis?
- O desempenho humano pode ser substituído por meio mecânico ou elétrico (por exemplo por lógica de intertravamento)?
- PIFs podem ser otimizados (por exemplo por melhoria de acesso ao equipamento, iluminação, tempo, supervisão, entre outros)?

A participação da força de trabalho conhecedora da atividade, apesar de importante durante todo processo da análise, é essencial nesta etapa.

O nível de detalhamento da TRA está relacionado ao potencial de redução de risco ou ao valor agregado ao projeto. Tipicamente o resultado fica entre duas categorias:

- Um novo requisito técnico para suportar o desempenho humano efetivo que ainda não está incluído em padrão ou especificação;
- Um requisito existente em padrão, mas que precisa de uma ênfase específica para uma atividade crítica.

No escopo dos requisitos de projeto identificados pode-se incluir:

- Requisitos para o projeto ou *layout* do espaço físico;
- Facilidade para manuseio, manobra de cargas, pesadas ou com formato diferenciado;
- Considerações ambientais, incluindo iluminação;
- Requisitos de necessidade de ferramentas especiais ou de equipamentos de proteção coletivos adicionais ou sua redução.

Etapa 7 – Revisar a efetividade do processo

Para unidades que estão iniciando a aplicação da análise de tarefas críticas, a realização prévia de pilotos – aplicação da técnica a unidades existentes para validação prática da proposta, pode ser benéfica. Exercícios com tarefas vinculadas a eventos maiores anteriores e a busca por soluções práticas podem beneficiar a aplicação da técnica de forma ampla.

Com a experiência será possível a criação de listas de análises modelo que alimentarão as demais análises.

Por fim, destaca-se a importância de a análise ser conduzida de forma multidisciplinar com equipe capacitada e conhecedora das atividades realizadas, conduzida de forma objetiva e dimensionada de forma adequada a complexidade. A equipe deve contar com um especialista em fatores humanos como facilitador, o qual, terá o importante papel de direcionar o grupo e avaliar os problemas que requerem aprofundamento.

Todo o processo da análise deve ser registrado de uma forma padronizada e os requisitos identificados devem ser transformados em especificações (incluindo nos pacotes de terceiros) e elementos a serem inseridos nas atividades de validação de projeto.

2.6 Front-End-Loading (FEL)

A termo *Front-End-Loading* (FEL) se refere a um processo de gestão de projetos que envolve desenvolver uma maturidade adequada na etapa de projeto de forma a minimizar risco e maximizar o potencial de sucesso do projeto. Dependendo da indústria, FEL

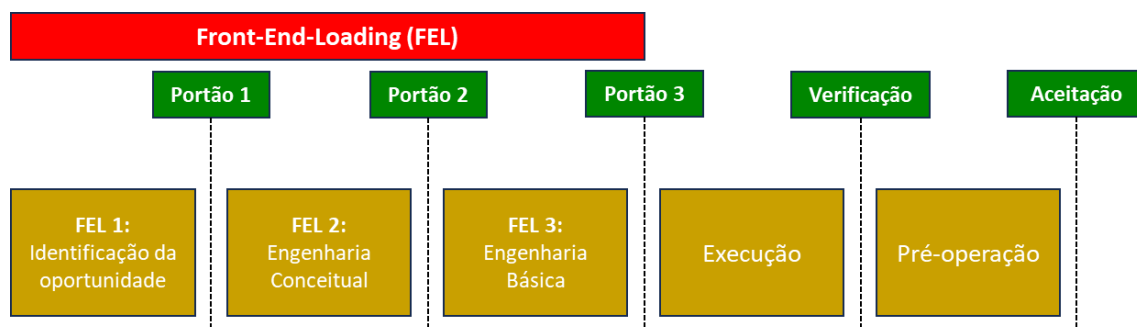
também é conhecida como FEED - *Front End Engineering Design* (MANUFACTURING.NET, 2013).

A consultoria IPA (*Independent Project Analysis*) realizou uma análise de indústria americanas e europeias em um período de cerca de 15 anos e identificou que aquelas que aplicável a prática FEL possuíam melhores resultados em seus projetos reduzindo o número de mudanças durante a execução, onde o custo é maior, resultando em um projeto mais eficiente (BARSHOP, 2004).

Segundo Barshop (2004), FEL é a prática com maior impacto sobre os resultados do projeto, aumentando o desempenho do custo, devido a melhoria da definição do projeto reduzir o número de alterações que ocorrem durante a sua execução, quando as mudanças custam mais, isso porque é implementada em fases, o que permite uma análise completa do projeto, ponderando os objetivos e oportunidades que podem oferecer para obter melhores resultados. A passagem pelos portões permite avaliar o nível de planejamento e domínio sobre o projeto antes de se passar para a fase seguinte. Essa avaliação antecipada minimiza alterações na fase de execução e propicia melhor entendimento dos objetivos do projeto pelas partes interessadas.

Neste processo, um projeto complexo é analisado a partir de três estágios básicos de aprovação, chamados de FEL 1, FEL 2, FEL 3. Em cada portão são apresentadas as questões críticas que podem causar algum impacto em relação ao objetivo daquela fase (Figura 3).

Figura 3 – Ciclo de vida do projeto



Fonte: Adaptado de IPA

Algumas empresas também dividem a etapa de Execução em duas partes: Etapa de detalhamento e etapa construtiva.

3. METODOLOGIA

Considerando a importância da aplicação da Engenharia de Fatores Humanos (EFH) em novos projetos de instalações de produção *offshore*, bem como as exigências previstas no arcabouço regulatório, o presente estudo foi desenvolvido partindo do entendimento das principais atividades previstas no relatório IOGP 454 constantes no seu Anexo D. Acompanhado de uma consulta à normas internacionais relacionadas ao tema, códigos e boas práticas do mercado citadas no anexo do relatório supracitado. Após o detalhamento das informações, para cada atividade prevista no relatório IOGP 454, foram elaborados quesitos a serem verificados, visando o atendimento aos requisitos de Engenharia de Fatores Humanos. Itens estes a serem verificados através dos diversos portões (*gates*) de aprovação do projeto conforme a metodologia FEL para o prosseguimento do projeto de uma unidade de produção *offshore*.

Os quesitos primordiais, ou básicos, foram relacionados em formato de lista de verificação, sendo obrigatório o atendimento a todos eles para que o projeto prossiga com segurança, seguindo as melhores práticas da indústria de óleo e gás.

Esses requisitos visam auxiliar a equipe de projeto na aplicação das principais diretrizes previstas no relatório IOGP 454 alinhado às normas internacionais, padrões, códigos e melhores práticas da indústria no que se refere à EFH.

Para auxiliar o acompanhamento gerencial das ações relacionadas à aplicação da Engenharia de Fatores Humanos nos novos projetos de unidades marítimas de produção de óleo e gás, faz-se necessária a criação de indicadores para o monitoramento dessas iniciativas ao longo do desenvolvimento das fases dos projetos.

Para tanto foram propostos 2 indicadores distintos. Um primeiro indicador para avaliar o percentual de aderência dos projetos em relação aos quesitos básicos previstos para serem atendidos nas 7 atividades da Engenharia de Fatores Humanos. E um segundo indicador para acompanhar a implementação das ações previstas no Plano Integrado de Fatores Humanos, visando contribuir para o atendimento a todos os requisitos e ações definidas em *workshops*, pelos especialistas em projetos e pelos profissionais de Fatores Humanos. Os indicadores foram assim definidos:

a) PAEFH – Percentual de Aderência em Engenharia de Fatores Humanos

- Fórmula = (número de quesitos atendidos / número total de quesitos) x 100%

b) PIAPI – Percentual de Implementação de Ações do Plano Integrado de Fatores Humanos.

- Fórmula = (número de ações implementadas / número total de ações do PIFH) x 100%

Ambos os indicadores devem possuir a meta de 100%, sendo que se sugere que o PAEFH seja o indicador condicionante para a passagem pelos portões do projeto da unidade de produção *offshore*, seguindo a metodologia FEL aplicada no desenvolvimento de projetos industriais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Atividade 1 – Análise de requisitos de tarefas

A partir da análise bibliográfica realizada, foi possível observar que a análise de tarefas é um processo iterativo que aumenta em detalhes à medida que se avança nas fases de projeto, não encerrando-se nesta etapa. Esta deve ser reavaliada na etapa de operação, em especial de forma integrada ao processo de Gestão de Mudança. A capacitação na realização da atividade (procedimento), a verificação periódica de conformidade do padrão com a prática (execução acompanhada ou simulada). Assim como, as auditorias cruzadas são práticas que atuam na minimização do erro humano e na melhoria contínua da interface homem-máquina em ambientes sociotécnico complexos.

Para o atendimento à atividade de “Análise de requisitos de tarefas” foram elaborados 14 (catorze) quesitos apresentados no Quadro 1, para serem verificados pela equipe responsável pelo desenvolvimento do projeto de uma instalação de produção de óleo e gás.

Quadro 1: Atividade 1 - Análise de Requisitos de Tarefas.

Item	Quesito	Atendimento
1.1	O grupo de análise foi composto por equipe multidisciplinar?	
1.2	Profissionais capacitados e conhecedores das atividades realizadas foram definidos para participação da análise?	
1.3	O facilitador possui o conhecimento e experiência requeridos para aplicação da técnica?	
1.4	Foram identificados os cenários de risco de eventos maiores (MAHs) a partir dos estudos de risco existentes?	
1.5	Foram identificadas as tarefas críticas por meio dos procedimentos vinculados aos estudos de risco e da experiência do grupo?	
1.6	Foram aplicados os critérios de priorização por meio das perguntas chaves estabelecidas?	
1.7	Foram descritas as tarefas críticas com a devida identificação dos fatores influenciadores de performance (PIFs)?	

Quadro 1: Atividade 1 - Análise de Requisitos de Tarefas (continuação).

Item	Quesito	Atendimento
1.8	Foram representadas as tarefas críticas mais complexas pela aplicação de ferramentas adicionais?	
1.9	Foram identificados os erros humanos (HEs) associados aos seus fatores influenciadores de desempenho (PIFs)?	
1.10	Foram definidas medidas de controle atendendo a hierarquia de estabelecida?	
1.11	A análise foi registrada de forma padronizada?	
1.12	A análise foi revista nas etapas de projeto subsequente? (detalhamento)	
1.13	As medidas de controle propostas foram implementadas? (detalhamento e executivo)	
1.14	Foram consultadas as seguintes referências recomendadas pelo Report IOGP 454? a) Kirwan, B. and Ainsworth, L.K. (1992), A guide to task analysis, Taylor & Francis, London; b) HSE, HSE briefing note: Understanding the task; e c) EI, Human factors briefing note no. 11: Task analysis D2 – VALVE CRITICALITY ANALYSIS (VCA).	

4.2 Atividade 2 – Análise de criticidade de válvulas

Na indústria de processo, eventos que poderiam ter sido evitados por meio da aplicação de conceitos da engenharia de fatores humanos já são conhecidos. Trevor Kletz (2005) apontou a importância da correta identificação e localização de válvulas nas unidades operacionais. O evento de *Piper Alpha* (1988), de cloreto de vinila na fábrica de plásticos de *Formosa* (CSB, 2004) e de alerta internacional (CCPS, 2021) já ressaltam a importância de válvulas adequadamente localizadas e identificadas na segurança de unidades industriais.

A localização das válvulas em unidades operacionais é um tema chave para segurança e eficiência de acesso para equipes operacionais e de manutenção. A análise de criticidade de válvulas é um processo estruturado de determinação da localização ideal das válvulas

levando em consideração sua criticidade e frequência de operação permitindo uma visualização rápida e acesso fácil a válvula.

A categorização deve ser realizada o quanto antes possível nas fases de projeto e revisado ao longo da maturidade do mesmo (após definição de *layout* por exemplo). Bem como, revisará-la no caso de mudança de projeto, ou incremento de obstáculos, nos respectivos acessos.

O processo é iniciado com a categorização das válvulas, a qual pode ocorrer, de forma preliminar, a partir de uma lista pré-definida e/ou revista com base na experiência das equipes envolvidas. Para a adequada classificação das válvulas, é fundamental a participação de uma equipe com experiência no processo, bem como a aplicação de normas técnicas para a sua localização ideal (altura, acesso etc.).

Uma categorização proposta pela ASTM F1166–23 (2021) é a separação em categorias 1 à 3, sendo elas:

Categoria 1 – Válvulas essenciais para a operação normal, ou de emergência, em que um acesso rápido é importante (válvulas de emergência, válvulas envolvidas em atividades críticas identificadas nos estudos de risco, e válvulas de alta frequência de uso.

Categoria 2 – Válvulas não críticas, mas que precisam ser acessadas rotineiramente nas atividades de operação e manutenção;

Categoria 3 – Válvulas não críticas com uso raro ou não frequente.

Os diagramas de tubulação e de instrumentação (P&IDs) são documentos típicos de referência para consolidação da lista de válvulas. Para projetos complexos, uma categorização por tipo de válvula ou diferenciação por exceção pode ser aplicada e posteriormente confirmada nas etapas subsequentes do projeto. Uma vez categorizadas, a equipe de projetos deve fornecer um guia para localização e orientações para cada categoria de válvula (incluindo válvulas de sistema de terceiro). Uma possível categorização é apresentada pela IOGP como segue:

Categoria 1 – Posicionadas de forma que a identificação e status seja visível e de fácil acesso. Acesso permanente deve estar disponível preferencialmente a nível de solo (*deck*) ou por meio de escadas (baixa inclinação);

Categoria 2 – Idealmente a nível de solo (*deck*) ou por escadas de baixa inclinação. Com justificativa pode ser aplicado uso de escadas verticais;

Categoria 3 – Acessibilidade e visibilidade desejáveis, mas não essenciais. Pode ser aplicado uso de plataformas móveis (evitar escadas portáteis). Observar a existência de espaço suficiente de acesso para equipe, ferramentas e equipamentos.

A equipe de projeto deverá acompanhar a implementação e atendimento das orientações estabelecidas, identificando qualquer problema relacionado. Adicionalmente, é recomendável a participação de um especialista em FH na confirmação de atendimento ao estabelecido e na busca de uma solução aceitável no caso de dificuldade de atendimento.

Uma revisão poderá ocorrer ou durante o modelo 3D na unidade e/ou em reuniões específicas para diferentes áreas da unidade tendo como base o modelo 3D. Essa definição varia conforme o número de válvulas a serem revisadas. Todo o processo, incluídas eventuais mudanças, deve ser documentado de forma padronizada.

Para o atendimento à atividade de “Análise de criticidade de válvulas” foram elaborados 5 (cinco) quesitos apresentados no Quadro 2, para serem verificados pela equipe responsável pelo desenvolvimento do projeto de uma instalação de produção de óleo e gás.

Quadro 2 - Atividade 2 – Análise da Criticidade de Válvulas.

Item	Quesito	Atendimento
2.1	Foram definidos critérios de categorização padronizados pela organização? Ref. ASTM F1166, IOGP 454, experiência operacional.	
2.2	Foi gerada uma lista das válvulas categorizadas com base nos critérios estabelecidos (criticidade com base nos estudos de risco (MAHs), periodicidade de uso)? (Projeto Básico)	
2.3	Foi atendido os critérios de localização e acessos? Ref. ASTM F1166 (Projeto Detalhamento)	
2.4	Foram confirmadas as localizações e <i>layout</i> na planta 3D? (Projeto Detalhamento)	
2.5	Foram consideradas a localização e acessos às válvulas no processo de Gestão de Mudança de projeto? (Construtivo)	

4.3 Atividade 3 – Triagem e revisão de pacotes de fornecedores

Uma das atividades importantes na EFH é a atuação dos profissionais especialistas em FH nas etapas do projeto, quando vários módulos ou pacotes produzidos por diversos fornecedores são incorporados ao projeto de uma instalação industrial. Esses pacotes são normalmente equipamentos montados em *skids* (módulos ou unidades autônomas), depois integrados à instalação final, como no caso de uma plataforma de produção de petróleo e gás natural.

Cabe aos especialistas em FH realizar uma revisão dos diversos pacotes dos fornecedores para o projeto em construção, buscando identificar os aspectos da EFH do projeto e *layout* da unidade que requerem uma atenção especial, tendo por base a criticidade das atividades que serão realizadas nos locais onde esses módulos estarão instalados, bem como na frequência das interações manuais dos operadores. Essa etapa é necessária e importante para a adequabilidade do projeto visando a melhor interação entre homem e máquina. Já que muitos *skids* que serão fornecidos são frequentemente muito “compactos”, ou seja, com as dimensões mínimas possíveis para serem depois transportados com mais facilidade, porém isto pode gerar problemas de acessibilidade e dificuldades durante a operação ou a manutenção desses equipamentos.

Já para os pacotes de fornecedores que incorporam equipamentos especiais ou que são considerados críticos para o projeto, os especialistas em FH devem ser consultados para confirmar a aceitabilidade do projeto desses pacotes.

Em todos os casos a triagem dos pacotes de fornecedores deve ser realizada o mais cedo possível, já no projeto básico ou no *FEED – Front-End Engineering Design*. Então definidos quais equipamentos e sistemas serão adquiridos como *skids* e compreendidas as funcionalidades da unidade, das atividades da operação e da manutenção a serem executadas.

Para auxiliar essa importante atividade de triagem e revisão de pacotes de fornecedores, o relatório IOGP 454 recomenda que seja elaborada uma lista abrangente com todas as unidades (ou módulos) que serão contratados junto aos seus diversos fornecedores. Esses pacotes dos fornecedores podem ser categorizados da seguinte forma:

Categoria 1: pacotes de fornecedores considerados críticos quanto a segurança das operações, a integridade ambiental, ou que requerem intervenção manual frequente.

Categoria 2: pacotes de fornecedores em que a intervenção humana é pouco frequente e considerados como não críticos.

A triagem inicial dos pacotes de fornecedores pode ser realizada sem a atuação de um especialista em FH, porém as pessoas envolvidas na triagem devem ter a clareza sobre os critérios a serem utilizados e aqui descritos.

Para os pacotes de equipamentos de categoria 1, os especialistas em FH devem estar envolvidos na revisão dos projetos do fornecedor, para garantir que sejam aceitáveis em relação à acessibilidade, operação e manutenção da unidade que será entregue. Já para os pacotes da categoria 2, o fornecedor deve ser solicitado a enviar informações sobre o *design*, padrões que foram aplicados e a base antropométrica adotada para a população de operadores que foi definida para o projeto da instalação.

Sob o aspecto da EFH, as revisões dos pacotes de fornecedores classificados como Categoria 1 devem ser documentadas no Plano Integrado de Fatores Humanos (PIFH). Esse plano contém diversas etapas, tais como: o gerenciamento integrado da EFH, os papéis e responsabilidades, o gerenciamento de problemas, os entregáveis, as atividades e programa de trabalho, a aplicação de padrões e as referências.

Não existe uma metodologia obrigatória ou única, mas normalmente isso envolve, no mínimo, uma revisão de desenhos do projeto isométrico das tubulações das unidades. A IOGP sugere que, sempre que possível, que a abordagem ideal seja a de organizar *workshops* com um especialista em FH, como facilitador, incluir engenheiros de projeto do fornecedor e representantes dos usuários finais. Portanto, profissionais que atuarão na operação e na manutenção da instalação final. Durante estes *workshops*, os projetos fornecidos deverão ser revisados sistematicamente levando em consideração:

- a) a complexidade, criticidade e frequência da tarefa;
- b) o número de pessoas necessárias;
- c) o acesso e saída do módulo;
- d) as folgas e espaço disponível para a operação e manutenção;
- e) a acessibilidade das válvulas e controles;

f) a visibilidade de instrumentos e medidores.

Vários pontos a serem avaliados são de extrema importância, como questões como acessibilidade, operabilidade e facilidade de manutenção do módulo ou unidade a ser instalada. Outros itens também podem ser levados em consideração, tais como: ruído ou vibrações de operações próximas, calor ou qualquer potencial de perigos de quedas de objetos que possam trazer riscos para as instalações.

Ao final dos *workshops*, quaisquer problemas de EFH a serem resolvidos posteriormente devem ser registrados no PIFH ou em outra ferramenta acordada, para o devido acompanhamento das ações que serão adotadas para a solução dos problemas identificados.

Para o atendimento à atividade de “Triagem e revisão dos pacotes de fornecedores” foram elaborados 5 (cinco) quesitos apresentados no Quadro 3, para serem verificados pela equipe responsável pelo desenvolvimento do projeto de uma instalação de produção de óleo e gás.

Quadro 3 - Atividade 3 – Triagem e Revisão dos Pacotes de Fornecedores.

Item	Quesito	Atendimento
3.1	Os pacotes de fornecedores foram categorizados segundo a previsão do <i>Report</i> IOGP 454 - Categoria 1 (críticos) ou Categoria 2 (não críticos)?	
3.2	Foram previstos <i>workshops</i> para a abordagem da Engenharia de Fatores Humanos em pacotes de fornecedores classificados na Categoria 1?	
3.3	Os <i>workshops</i> foram constituídos por um especialista em Fatores Humanos (facilitador), engenheiros projetistas dos fornecedores e representantes da operação e manutenção da unidade que será construída?	
3.4	Durante os <i>workshops</i> os projetos foram revisados sistematicamente quanto às questões de acessibilidade, operabilidade, visibilidade da instrumentação e facilidade de manutenção?	
3.5	As revisões dos pacotes de fornecedores classificados como Categoria 1 foram documentadas no Plano Integrado de Fatores Humanos?	

4.4 Atividade 4 – Análise e revisão do projeto da sala de controle

O conhecimento de FH tem um importante ponto de aplicação em uma instalação industrial, que são as salas de controle, devido ao alto potencial de impacto no controle dos acidentes graves. Os especialistas em EFH atuam tanto no projeto de salas de controle novas como também nas mudanças significativas de salas de controle já existentes. Ao longo do ciclo de vida de uma instalação industrial podem ocorrer situações de mudanças nas salas de controle como a transferência para outro local mais adequado, integração com instalações centralizadas maiores, ou simplesmente com a introdução de novos equipamentos, móveis e estações de trabalho. Todos estes elementos devem ser tratados com bastante cuidado e com o suporte de profissionais especialistas em FH, que ajustarão as instalações aos padrões, diretrizes e princípios da EFH.

O projeto de uma sala de controle é iniciado geralmente durante a fase do projeto básico ou do FEED, quando são realizadas análises para confirmar os requisitos que precisarão ser atendidos pelo projeto desse local. Os especialistas em FH devem estar envolvidos nessa fase de revisão do projeto e na fase do detalhamento do projeto. Durante o projeto básico deve ser realizado um workshop específico, a fim de confirmar a proposta de operação da sala de controle e definição dos requisitos a serem abordados. Esse *workshop* deve ter a participação dos engenheiros da disciplina de projeto, de representantes dos operadores da sala de controle e pelo especialista em FH com a função de facilitador. Essa análise inicial dos requisitos da sala de controle geralmente inclui os seguintes itens ou etapas:

a) Confirmação da finalidade da sala de controle e sua filosofia de operação durante condições normais, anormais ou de emergência. Se o projeto envolver modificações em uma sala de controle existente, essas propostas devem ser compreendidas e avaliadas considerando os sistemas existentes que funcionarão em conjunto de acordo com o novo *design*.

b) Análise funcional para documentar as funções a serem suportadas pela sala de controle e as interações com outras áreas operacionais necessárias. Essa análise pode incluir, por exemplo, quaisquer requisitos para funções de suporte como passagem de turno,

permissão para trabalho, resposta a emergência, controle de pessoal e, para instalações *offshore*, gestão de embarcações marítimas ou controle de vôos de helicóptero.

c) Identificação dos requisitos dos equipamentos. A análise funcional deve incluir a definição dos equipamentos e demais instalações (facilidades) necessárias ao suporte de cada função na sala de controle. Normalmente é elaborada uma lista completa dos equipamentos que farão parte da sala de controle.

d) Confirmação do nível do pessoal proposto e das funções a serem suportadas na sala de controle. Nessa avaliação deve ser considerado o pessoal que atua no nível primário (aqueles que atuam dentro da sala de controle como os operadores de painéis), bem como pessoas que possuem um papel secundário, ou seja, pessoal que precisa acessar fisicamente a sala de controle de forma ocasional, mas que não requerem estações de trabalho ou instalações dedicadas.

e) Análise das tarefas das principais funções do operador. Essa análise deve incluir a confirmação de qualquer tarefa crítica a ser realizada a partir da sala de controle. Deve-se levar em consideração a carga de trabalho associada a funções específicas, para ajudar a determinar quantos funcionários provavelmente serão necessários para preencher as posições exigidas na sala de controle.

f) Análise da relação entre funções e equipamentos. Por último é recomendada uma análise para identificar e registrar os relacionamentos esperados entre as pessoas e os equipamentos da sala de controle. Como por exemplo, a frequência esperada de contato físico direto entre as diferentes funções e a frequência com que cada função necessita de acesso a diferentes equipamentos ou áreas dentro da sala de controle ou áreas adjacentes.

Ao final do *workshop* para análise de requisitos da sala de controle temos como saída a identificação dos requisitos a serem levados adiante para o projeto. Quaisquer questões relacionadas à EFH levantadas durante o *workshop* devem ser registradas no PIFH ou no mecanismo/ferramenta que será utilizada para acompanhar as ações a serem implementadas no projeto da sala de controle. E, à medida que o projeto da sala de controle avança, projeto básico, FEED e de detalhamento. Os especialistas em FH devem trabalhar em estreita colaboração com os engenheiros projetistas e representantes dos usuários finais (operadores da sala de controle) para desenvolver o *layout* da sala de controle. Dessa forma ficará garantida a conformidade com os FH e as boas práticas da

ergonomia. Esse processo iterativo normalmente envolve revisões dos desenhos, isométricos e modelos 3D. Para projetos de grandes salas de controle pode ser apropriado executar testes com os usuários em maquetes ou simuladores, para ajustar e aprovar o desenho final da sala de controle.

Uma das normas de referência para o projeto e para a análise de salas ou centros de controle é a ISO 11064:2003, que atualmente é dividida em 7 partes:

- a) Parte 1 – Princípios para o projeto de centros de controle;
- b) Parte 2 – Princípios para o arranjo de suítes de controle;
- c) Parte 3 – *Layout* da sala de controle;
- d) Parte 4 – *Layout* e dimensões das estações de trabalho;
- e) Parte 5 – *Displays* e controles;
- f) Parte 6 – Requisitos ambientais para centros de controle;
- g) Parte 7 – Princípios para avaliação de centros de controle.

O anexo D do Relatório IOGP 454 destaca também o padrão NORSOK Standard S-002 - Ambientes de trabalho, que foi desenvolvido pela indústria petrolífera norueguesa para garantir a segurança adequada nas operações desse setor industrial. A seção que trata do ambiente de trabalho destaca a necessidade de uma análise específica a ser realizada para avaliar o projeto, as pessoas e a operação das salas de controle, chamada de análise de intervenção e operacionalidade em crises, com a sigla CRIOP. Essa análise (CRIOP) inclui uma revisão da lista de verificação das características estáticas da sala de controle e uma análise de cenário. A revisão da lista de verificação inclui a consideração do *layout* da sala de controle, a interface homem-máquina, o ambiente físico de trabalho, os sistemas de controle e segurança, os procedimentos e programa de treinamento. Já na análise de cenário são desenvolvidos diagramas com as etapas de cenários de acidentes potenciais, definindo os diferentes atores em cada cenário, sejam humanos ou objetos, e o tempo em que determinados eventos ocorrem. Nessa etapa da análise (CRIOP) são identificadas as ações críticas onde erros humanos podem levar a consequências graves. Em contrapartida, para cada ação grave são então avaliados o projeto, a equipe e os procedimentos, considerando as possibilidades dos operadores da sala de controle para detectar e diagnosticar perigos e tomar as medidas necessárias.

Para o atendimento à atividade de “Análise e revisão do projeto de sala de controle” foram elaborados 5 (cinco) quesitos apresentados no Quadro 4, para serem verificados pela equipe responsável pelo desenvolvimento do projeto de uma instalação de produção de óleo e gás.

Quadro 4 - Atividade 4 – Análise e Revisão do Projeto da Sala de Controle

Item	Quesito	Atendimento
4.1	Durante o projeto básico foi realizado um <i>workshop</i> específico, a fim de confirmar a proposta de operação da sala de controle e definir os requisitos que precisam ser abordados?	
4.2	O <i>workshop</i> teve a participação dos engenheiros da disciplina de projeto, de representantes dos operadores da sala de controle e pelo especialista em fatores humanos com a função de facilitador?	
4.3	Durante o <i>workshop</i> foram analisados os requisitos das salas de controle e dentre eles: a) Confirmação da finalidade da sala de controle; b) Análise funcional; c) Identificação dos requisitos dos equipamentos; d) Confirmação do nível do pessoal proposto e das funções a serem suportadas na sala de controle; e) Análise das tarefas principais da função do operador; e f) Análise da relação entre funções e equipamentos?	
4.4	As questões relacionadas à Engenharia de Fatores Humanos levantadas durante o <i>workshop</i> foram registradas no Plano Integrado de Fatores Humanos ou na ferramenta que foi utilizada para acompanhar as ações a serem implementadas no projeto da sala de controle?	
4.5	Para a análise da sala de controle e revisão do seu projeto foram consultadas às seguintes referências recomendadas pelo Report IOGP 454? a) Norma ISO 11064; b) Padrão NORSOK Standard S-002, Ambientes de trabalho; e c) Relatório nº SINTEF A4312, CRIOP: Um método de cenário para crise, análise de intervenção e operacionalidade.	

4.5 Atividade 5 – Análise e Revisão da Interface Homem-Máquina (IHM)

O foco do relatório 454 (IOGP, 2020) é recomendar para indústria de óleo e gás boas práticas para a aplicação eficaz da EFH em todas as fases do ciclo de vida do projeto da instalação, garantindo que os sistemas sejam projetados de forma a otimizar a

contribuição humana para a produção e minimizar o potencial de indução de riscos à saúde, segurança e meio ambiente.

Quando um projeto envolver a introdução de novas IHMs ou a modificação de IHMs existentes, a EFH deve ser usada para garantir a usabilidade do sistema e reduzir o potencial de erro humano. Na ISO 9241 - Ergonomia da interação homem-sistema (múltiplas partes), encontra-se mais informações sobre o conceito de usabilidade. Ao se projetar e avaliar sistemas, produtos, e serviços para usabilidade, a finalidade é permitir aos usuários atingir objetivos de forma eficaz, eficiente e satisfatória, considerando o contexto de uso.

Conforme o relatório 454, os insumos de EFH garantem que as IHMs sejam projetadas de acordo com FH/princípios de boas práticas de ergonomia e satisfaçam os requisitos definidos para o usuário final. Os insumos de EFH para o projeto de IHM geralmente iniciam durante a fase de projeto inicial/FEED, momento em que análises serão feitas para confirmar os requisitos que precisarão ser atendidos pelo projeto. O nível de insumos necessários dependerá do tamanho e complexidade do projeto, o número de diferentes sistemas IHM envolvidos e o grau em que esses sistemas estão sendo desenvolvidos desde o início. Os especialistas em FH estarão então envolvidos em um processo iterativo de revisão e validação de projeto nas fases de projeto inicial/FEED e projeto detalhado.

A análise e revisão de IHM deve ser documentada no Plano de Integração ou Implementação de Fatores Humanos (PIFH).

Para muitos projetos, fornecedores de *software* podem ser contratados para fornecer Sistemas de Controle Distribuído (DCS) - "prontos para uso". Conforme necessidade, tais sistemas serão adaptados para atender aos requisitos específicos do projeto e da planta. À medida que esses sistemas DCS forem sendo adquiridos, o papel inicial dos especialistas em FH será ajudar a confirmar os requisitos específicos para o projeto e, posteriormente, revisar a especificação personalizada do projeto IHM produzida pelo fornecedor, verificando a conformidade.

Enquanto novos sistemas HMI são desenvolvidos, se faz necessário um nível inicial de EFH mais alto, e para garantir que os princípios de boas práticas de FH/ergonomia serão atendidos e um alto nível de usabilidade alcançado, os especialistas em FH devem realizar

uma análise de requisitos de HMI para confirmar a especificidade a ser atendida pelo sistema.

A discussão e concordância dos requisitos é realizada através de *Workshop* facilitado por um especialista em FH, contando com a participação de usuários finais (operadores de sala de controle, mantenedores, etc.). Deve-se considerar quem serão os usuários do sistema, quais as tarefas serão realizadas e onde se localizam as telas da IHM, incluindo-se a necessidade de garantia da consistência com quaisquer sistemas legados, etc. Também devem ser acordadas preferências em relação aos princípios mais cruciais de projeto, tais como: cores, codificação visual, hierarquia de menu e navegação, etc.

O resultado do processo de análise de IHM deve ser uma lista de requisitos a serem cumpridos para o projeto. Quando aplicável, esses requisitos devem ser aprovados para fornecedores que estejam fornecendo o *software* IHM.

À medida que o projeto de IHM avança nas etapas de projeto inicial/FEED e projeto detalhado, os especialistas em FH devem trabalhar em estreita colaboração com engenheiros de projeto e representantes de usuários finais para desenvolver de forma iterativa o projeto final de IHM, garantindo a conformidade com FH/princípios de boas práticas de ergonomia.

Quaisquer problemas específicos de EFH a serem resolvidos devem ser registrados no Registro de Problemas de Fatores Humanos (RPFH) ou outro mecanismo acordado.

É requerido o nível mínimo de praticante de EFH ao especialista em FH, que deve apoiar a análise de requisitos de IHM, revisão de EFH em andamento, e validação de projetos de IHM emergentes.

Para o atendimento à atividade de “Análise e revisão da interface homem/máquina” foram elaborados 5 (cinco) quesitos que seguem abaixo, para serem verificados pela equipe responsável pelo desenvolvimento do projeto de uma instalação de produção de óleo e gás.

Quadro 5 - Atividade 5 – Análise e Revisão da Interface Homem/Máquina.

Item	Quesito	Atendimento
5.1	Os <i>Workshops</i> foram planejados para discutir os requisitos de Interface Homem-Máquina (IHM), confirmando a especificidade a ser atendida, e garantindo atendimento aos princípios de boas práticas de fatores humanos / ergonomia?	
5.2	Os <i>workshops</i> tiveram especialistas em fatores humanos como facilitadores, bem como participação de usuários finais representativos (por exemplo, operadores de sala de controle, mantenedores, etc.)?	
5.3	O resultado do processo de análise de IHM foi inserido em uma lista de requisitos a serem cumpridos para serem levados adiante no projeto? Quando aplicável, esses requisitos foram aprovados pelos fornecedores que estão fornecendo o software IHM?	
5.4	Os problemas de Engenharia de Fatores Humanos a serem resolvidos foram registrados no Registro de Problemas de Fatores Humanos (RPFH)?	
5.5	Foram consultadas as seguintes referências recomendadas pelo Report IOGP 454? • ISO 9241, Ergonomia da interação homem-sistema (múltiplas partes); • (EEMUA) 201 Associação de Usuários de Equipamentos e Materiais de Engenharia: mesas de controle de plantas de processo utilizando interfaces homem-computador. Um guia para projeto, operação e questões de interfaces humano-computador, edição 2; • Consórcio ASM, práticas eficazes de projeto de HMI para operador de console.	

4.6 Atividade 6 – Análise e revisão de sistemas de alarmes

A aplicação da EFH no projeto de sistemas de alarmes garantirá que estes sistemas sejam projetados de acordo com os princípios das boas práticas de fatores humanos/ergonomia, sendo de grande importância para a gestão da segurança das instalações *offshore* e redução do erro humano, assim como, melhoria da interface homem-máquina dos operadores de processo, incluindo a detecção dos alarmes, diagnóstico e ações de resposta que visam prevenir e mitigar grandes cenários de acidentes (MAHs).

A primeira etapa no projeto de um novo sistema de alarme ou na modificação de um sistema existente é desenvolver uma filosofia de alarmes que estabeleça os objetivos e os procedimentos necessários para atender a esses objetivos, fornecendo insumos para a especificação, implementação, operação, monitoramento e manutenção de um sistema de alarmes robusto e eficiente, desta forma a abordagem a ser seguida para análise e revisão do sistemas de alarmes também devem ser documentados no PIFH, conforme previsto no relatório 454 (IOGP, 2020).

A filosofia de alarme deve incluir a definição de regras para categorizar, priorizar e determinar frequências aceitáveis considerando-se as limitações humanas, assim como, codificação, uso de cores, tempo disponível para resposta do operador e impactos causados na planta quando da ausência desta resposta, garantindo a consistência na Interface Homem-Máquina (IHM) prevista no projeto geral.

A próxima etapa do processo é identificar os alarmes que devem ser incluídos no sistema (incluindo quaisquer alarmes existentes que possam exigir modificação), assim como, deve ser realizado um processo de racionalização para categorizar os alarmes por prioridade com base nas regras estabelecidas na filosofia de alarmes. As ações a serem tomadas pelos operadores em resposta aos alarmes devem ser definidas durante este processo e os resultados do processo de racionalização devem ser documentados e mantidos em um banco de dados e atualizados sempre que necessário durante a vida útil do sistema de alarmes.

É provável que a entrada de especialistas em FH seja necessária para apoiar as análises e discussões necessárias que ajudará a desenvolver a filosofia de alarme e à medida que o projeto do sistema de alarme avança estes especialistas devem trabalhar em estreita colaboração com engenheiros de projeto e representantes do usuário final para desenvolver iterativamente o projeto final, garantindo a conformidade com Princípios de boas práticas de fatores humanos/ergonomia.

Já para o atendimento à atividade de “Análise e revisão de sistemas de alarme” foram elaborados 9 (nove) quesitos apresentados no Quadro 6, para serem verificados pela equipe responsável pelo desenvolvimento do projeto de uma instalação de produção de óleo e gás.

Quadro 6 - Atividade 6 – Análise e Revisão de Sistemas de Alarme.

Item	Quesito	Atendimento
6.1	A filosofia de alarmes foi desenvolvida?	
6.2	Os alarmes críticos foram classificados com base em sua criticidade e impacto potencial nas operações recebendo uma atenção prioritária?	
6.3	Foram estabelecidos limites operacionais claros e adequados de forma a acionar os alarmes somente quando ocorrerem desvios significativos no processo?	
6.4	Os alarmes foram classificados em diferentes níveis de prioridade com base em sua importância visando auxiliar os operadores a identificarem rapidamente as situações críticas e responder de maneira adequada?	
6.5	Existe a racionalização e agrupamento de alarmes provenientes de uma mesma fonte visando fornecer informações mais abrangentes e redução da carga cognitiva sobre o operador, evitando repetições desnecessárias de alarmes?	
6.6	Os alarmes estão sendo apresentados de forma clara e compreensível, contendo informações relevantes sobre a causa, consequências e ações necessárias. Informações excessivas ou confusas foram evitadas para não prejudicar a tomada de decisão do operador?	
6.7	Existe previsão de realização de testes regulares nos sistemas de alarme, assim como, programa de manutenção adequado para identificar e corrigir possíveis falhas garantindo o correto funcionamento?	
6.8	Existe programa de capacitação adequada para operadores com o objetivo de entendimento dos sistemas de alarme de maneira que consigam agir de maneira eficaz em emergências?	
6.9	Foram consultadas as seguintes referências recomendadas pelo Report IOGP 454? a) EEMUA 191, <i>Alarm systems. Guide to design, management and procurement</i> . b) British Standards Institution (BSI), BS EN 62682: 2015, <i>Management of alarms systems for the process industries</i> . e c) Norwegian Petroleum Directorate, YA-711, <i>Principles for alarm system design</i> .	

4.7 Atividade 7 – Revisão do *layout* do projeto da instalação industrial

O *layout* de qualquer local de trabalho deve facilitar operações seguras e eficientes, garantir acessibilidade aos equipamentos e permitir que os operadores se movam com segurança, facilidade e eficiência. Para tanto deve-se buscar informações de especialistas em FH para o processo de revisão do projeto, para garantir que todos os locais de trabalho estejam projetados de acordo com os padrões de ergonomia e boas práticas, para garantir a conformidade com quaisquer requisitos de *design* definidos pelo projeto.

A entrada dos especialistas na EFH normalmente começará durante a fase de definição do projeto (projeto básico e projeto FEED) e continuará na fase do projeto de detalhamento à medida que o projeto progride. Esses especialistas devem trabalhar em estreita colaboração com os engenheiros projetistas durante todo o processo de *design* (projeto básico, FEED e detalhamento) para garantir que todos os requisitos especificados pela EFH relativos ao *layout* da planta ou instalação sejam atendidos.

Os padrões e orientações de ergonomia que serão aplicados ao projeto devem estar definidos no PIFH, devendo abranger os principais aspectos do projeto das instalações, incluindo passarelas e rotas de fuga, plataformas elevadas, escadas, arranjos de iluminação e sinalização. Para qualquer dificuldade encontrada, devem ser organizadas reuniões específicas para discutir, acordar e documentar qualquer “compensação” e a solução de projeto que foi proposta.

A contribuição do especialista em FH para o processo iterativo de revisão do projeto geralmente envolve revisões de desktop do arranjo geral 2D e desenhos de projeto isométrico e, quando aplicável para maiores projetos, percorrer a instalação nos modelos 3D. Para projetos maiores e mais complexos, onde há um processo formal de revisões de projeto em modelo 3D, podemos considerar a seguinte participação do especialista em EFH:

- Revisões com 30% do projeto em modelo 3D: a revisão de EFH é recomendada para que quaisquer problemas nessa fase possam ser identificados e registrados. A entrada do especialista em FH nesta fase pode ser muito útil e fundamental para garantir espaço, folgas, passarelas e localização das escadas. É uma oportunidade inicial para comentar o arranjo geral e influenciar outras disciplinas presentes na revisão. Sem isso, há uma maior

probabilidade de problemas significativos de FH serem levantados durante revisões de modelo 3D com 60% de avanço do *design* da instalação.

- Revisões com 60% do projeto em modelo 3D: nessa fase deve contar com especialistas em EFH com larga experiência no tipo de instalação. Neste ponto do projeto, o nível de detalhe permitirá que o especialista verifique detalhes como acessibilidade à válvulas e controles, passagem folgas, etc. Ainda pode haver escopo para fazer alterações significativas no projeto, embora nem sempre seja assim.

- Revisões com 90% do projeto em modelo 3D: o acompanhamento de um especialista em FH é benéfico. Nesta fase, o papel do especialista é verificar se os problemas anteriores foram resolvidos e para realizar verificações finais, visando que os usuários finais, profissionais de operação e manutenção, sejam apoiados em suas tarefas.

Dependendo da complexidade do projeto, cronograma e preferências, pode ser mais apropriado a realização de outras revisões de projeto em modelo 3D, a serem organizadas para focar na revisão das questões de EFH.

Para mais informações sobre o assunto o Relatório 454 (IOGP, 2020) indica a consulta à norma ISO 26800:2011 – Ergonomia – Abordagem geral, princípios e conceitos. Essa norma apresenta uma abordagem geral da ergonomia e especifica os princípios e conceitos básicos de ergonomia, que são aplicáveis em projetos, ferramentas, equipamentos, avaliação de tarefas, sistemas e organizações, instalações e ambientes, de forma a compatibilizá-los com as características, necessidades, habilidades e limitações das pessoas. A ISO 26800:2011 é uma norma que atende à ergonômistas, projetistas e gerentes de projeto, consumidores e trabalhadores, servindo como um padrão de referência quando se atua na área da ergonomia e tem como objetivo melhorar a segurança, o desempenho, a confiabilidade e manutenção do resultado do projeto durante todo o seu ciclo de vida, bem como protege a saúde, o bem-estar e a satisfação das pessoas envolvidas.

O relatório 454 (IOGP, 2020) também cita como fonte para a busca de outras informações o documento *Human Factors: Human Factors in a new facility design tool* (API, 2005) que foi divulgado em julho de 2005. Os princípios de fatores humanos descritos nesse documento destinam-se a projetos de novos equipamentos ou instalações, mas muitas ideias podem ser usadas para melhorar a operação de instalações industriais existentes.

Esse padrão se concentra apenas no projeto do equipamento que são comuns às operações de produção marítimas e terrestres, sendo que itens como erro humano, segurança baseada em comportamento e questões de procedimento operacional não estão no seu escopo.

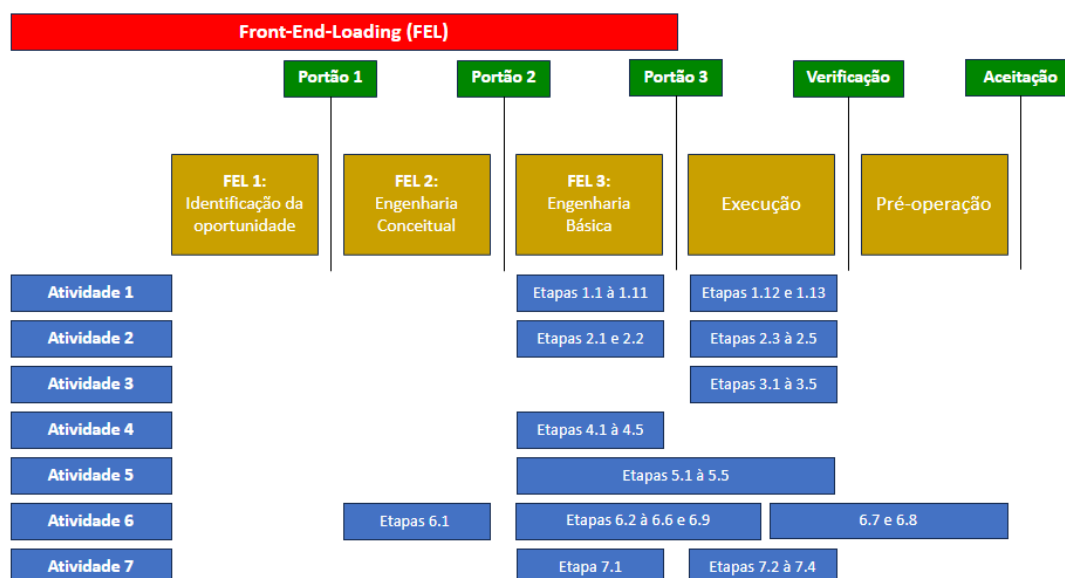
Para o atendimento à atividade de “Análise e revisão do projeto de sala de controle” foram elaborados 4 (quatro) quesitos apresentados no Quadro 7, para serem verificados pela equipe responsável pelo desenvolvimento do projeto de uma instalação de produção de óleo e gás.

Quadro 7 - Atividade 7 – Revisão do Projeto de *Layout* da Instalação Industrial.

Item	Quesito	Atendimento
7.1	Os padrões e orientações de ergonomia que serão aplicados ao projeto foram definidos no Plano Integrado de Fatores Humanos, abrangendo os principais aspectos do projeto das instalações, incluindo passarelas e rotas de fuga, plataformas elevadas, escadas, arranjos de iluminação e sinalização?	
7.2	Para projetos maiores e mais complexos, onde há um processo formal de revisões de projeto em modelo 3D, o especialista em Engenharia de Fatores Humanos participou das revisões com 30%, 60% e 90% do projeto em modelo 3D?	
7.3	Durante as etapas de revisão do <i>layout</i> do projeto da instalação foi consultada a norma de referência em ergonomia, a ISO 26800:2011, Ergonomia – Abordagem geral, princípios e conceitos?	
7.4	Foi consultado também o padrão API Fatores Humanos: Fatores humanos em nova ferramenta no projeto de novas instalações, divulgado pelo American Petroleum Institute (API) em julho de 2005, conforme recomenda o Report IOGP 454?	

Para o sucesso da aplicação dos quesitos elaborados para cada atividade é fundamental uma sistemática robusta de gestão, onde, em cada fase do projeto, o atendimento aos itens seja verificado. Desta forma, indica-se a metodologia FEL. De uma forma ilustrativa, a aplicação das atividades em cada fase de projeto é apresentada na figura 4.

Figura 4 – Atividades em cada fase do projeto



Fonte: Adaptado de IPA

5. CONCLUSÕES

Por meio da análise de um seleto grupo de grandes eventos de segurança de processo foi possível observar que a implementação do arcabouço previsto no Report 454 da IOGP é de extrema importância para garantir a segurança, eficiência e desempenho humano em projetos de instalações *offshore*.

Através dos quesitos elaborados neste trabalho as equipes de projeto podem orientar-se e considerar os aspectos da Engenharia de Fatores Humanos de forma adequada desde a fase de projeto básico, contribuindo para a prevenção de acidentes de segurança de processo na fase de operação da instalação.

Adicionalmente, observa-se que a metodologia FEL, que estabelece as boas práticas para gestão das fases de projeto, não aborda a temática de uma forma sistematizada. Desta forma, a metodologia FEL, complementada da lista de quesitos elaborada tem o potencial de promover maior eficiência quando do início do monitoramento e controle da realização das atividades da engenharia de fatores humanos durante o ciclo de vida do projeto. Como retorno, tem-se a minimização dos riscos, aumento da confiança e maior facilidade na elaboração do plano de gerenciamento, fornecendo parâmetros prévios para o controle do projeto, possibilitando aos gerentes de projetos uma visão antecipada de riscos e uma análise preliminar mais precisa de tempo e custos.

Também é possível observar que a aplicação da engenharia de fatores humanos é um processo iterativo, onde se ganha maturidade a medida que se avança nas fases de projeto e à medida que se aplica a metodologia. O foco na capacitação da equipe, na sistemática de registro e no aprendizado contínuo são alguns dos itens chaves para o sucesso na minimização do erro humano e na melhoria contínua da interface homem-máquina em ambientes sociotécnico complexos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN BUREAU OF SHIPPING – ABS. **Guidance notes on the application of ergonomics to marine systems**. Houston, Texas, Estados Unidos, 2013.

AMERICAN NATIONAL STANDARD IEC 61511-1. Functional Safety: safety instrumented systems for the process industry sector - Part 1: Framework, definitions, system, hardware and software requirements.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). **Relatório Anual de Segurança Operacional das atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural**. Superintendência de Segurança Operacional e Meio Ambiente, 2022.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API). **Human Factors: Human Factors in a new facility design tool**. 2005.

ANNETT, J.; DUNCAN, K. D.; STAMMERS, R. B.; GRAY, M. J. **Task analysis**. London: HMSO, 1971.

ASSOCIAÇÃO DE USUÁRIOS DE EQUIPAMENTOS E MATERIAIS DE ENGENHARIA (EEMUA) 201. **Mesas de controle de plantas de processo utilizando interfaces homem-computador: um guia para projeto, operação e questões de interfaces humano-computador**. Edição 2, 2010.

ASTM F1166–23:2021. *Standard Practice for Human Engineering Design for Marine Systems, Equipment, and Facilities*.

AUBIN, F.; ROBERT, J. M.; ENGELBERG, D. **From task analysis to user interface design**. 1999.

BARSHOP, Paul. **Best Practice Pays Off**, 2004

BERECIARTUA, T. A. **Compilation of task analysis methods: practical approach of hierarchical task analysis, cognitive work analysis and goals, operations, methods and selection rules**. Master of Science Thesis. Stockholm, Sweden, 2011.

BS EN 62682. **Management of alarm systems for the process industries**. 2015.

CCPS. **Diretrizes para Segurança de Processo Baseada em Risco**. 2014.

CCPS. **Human Factors Handbook for Process Plant Operations: Improving Process Safety and System Performance**. 2022.

CCPS. **Valve position errors can cause serious incidents**. Process Safety Beacon. Recuperado de <https://www.aiche.org/ccps/resources/process-safety-beacon/archives/2021/may/portuguese-brazil>, Maio, 2021.

CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD – CSB. **Explosion and Fire at Formosa Plastics Corp.** Safety Video acesso em <https://www.youtube.com/watch?v=4deSLn5Su-Q>. Illiopolis, Illinois, Estados Unidos, 2004.

EEMUA Publication 191. **Alarm systems: a guide to design, management and procurement.** 2014.

CONSÓRCIO ASM. **Práticas eficazes de projeto de HMI para operador de console.**

ENERGY INSTITUTE (EI). **Orientações em Fatores Humanos para Análise de Tarefas Críticas para Segurança.** Segunda Edição, 2020.

FERREIRA, L. L. **Estudo solicitado pelo Ministério Público do Estado de São Paulo ao Setor de Ergonomia da FUNDACENTRO.** São Paulo, 1991.

GE Energy Nuclear. **Licensing Topical Report-ESBWR Task Analysis.** 2006.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION et al. IEC 51511-1. **Functional safety: safety instrumented systems for the process industry sector - Part 1: Framework, definitions, system, hardware and software requirements,** 2003.

IOGP - Associação Internacional dos Produtores de Óleo e Gás. Relatório nº 454. **Engenharia de Fatores Humanos em Projetos.** Seção 2, 2020.

ISO 11064:2013. Design Ergonômico de Centros de Controle.

ISO 26800:2011. Ergonomia: abordagem geral, princípios e conceitos.

ISO 17776: 2015. Indústrias de Petróleo e Gás Natural – Instalações de Produção Marítimas – Gerenciamento de grandes acidentes durante o projeto de novas instalações – Segunda Edição.

ISO 9241:2008. Ergonomia da interação homem-sistema (múltiplas partes).

KLETZ, T. A. **O que houve de Errado?** Casos de Desastres em Indústrias químicas, petroquímicas e refinarias. Pearson Makron Books, São Paulo, 2005.

MANNAN, S. **Lee's loss prevention in the process industries.** 3ª ed., v. 1. Elsevier, 2004.

MANUFACTURING.NET. The Right Tools For The Job: Front-End-Loading. Acessado em: <https://www.manufacturing.net/operations/article/13150094/the-right-tools-for-the-job-frontendloding>. Dezembro, 2013.

MELLO, A. M.; MARX, R.; ZILBOVICIUS, M. **Work Allocation in Complex Production Processes: a Methodology for Decision Support.** Journal of Operations and Supply Chain Management, v. 4, n. 2, p. 43-55, 2011.

NORSOK. NORSOK Standard S-002.

NUSCALE POWER. **Human Factors Engineering Task Analysis Technical Report.** RP-0902-5473-NP, 2014.

NUREG-0711. **Human Factors Engineering Program Review Model.** 2012.

PONTE JUNIOR, G. P. **Gerenciamento de riscos na indústria de petróleo e gás: Conceitos e casos offshore e onshore.** 1ª ed., 2015.

SHORROCK, S. T.; HUGHES, G. **Let's get real: How to assess human error in practice.** IBC Human Error Techniques Seminar, 2001.

SMITH, Edward; KOOP, Anne; KING, Stuart. **Guidance on human factors critical task analysis**. Symposium Series, n. 156, p. 367-274, 2011.