

ANÁLISE DO MODELO DE CONFIABILIDADE PARA MODO DE FALHA INTERDEPENDENTE, UMA DISCUSSÃO SOBRE O ERRO HUMANO, FATORES ORGANIZACIONAIS E AMBIENTAIS

Salvador Ávila Filho¹, avilasalva@gmail.com
Maria Lorena Souza², marialoorena@gmail.com
Guilherme Ramalho¹, Ramalho.engmec@gmail.com
Ivan Costa Passos¹, ivan.passos@hotmail.com
Amanda Ramos Oliveira¹, amandarmo@gmail.com

¹Universidade Federal da Bahia, R. Prof. Aristides Novis, 2 - Federação, Salvador - BA, 40210-630

² Monsanto

Resumo:

Em um mundo cada dia mais globalizado, reafirma-se a necessidade de gerir os recursos energéticos - cada dia mais limitados - de maneira eficiente. Desta forma, é importante que na indústria, a performance de equipamentos e processos seja cada vez mais eficiente. Isto é alcançado não somente intervindo em equipamentos e seus componentes, mas utilizando ferramentas que possam melhorar a eficácia organizacional e assim aumentar a performance das equipes que interagem com estes equipamentos, reduzindo o número de falhas. A falha total de um equipamento acontece quando a carga agindo em um ou mais de seus componentes supera a sua resistência. Isso ocorre quando há diminuição da resistência suportada no sistema, como por exemplo no caso de fadiga, ou pela sobrecarga do sistema. Surge desta forma a necessidade de avaliar as influências internas e externas no processo e na operação que ocasionam alterações nas cargas ou resistências do sistema. Nesse contexto, neste trabalho é descrito um método de avaliação do projeto e de operação, também são determinadas as influências sócio-técnicas que geram a falha. Nesse processo, é necessária a compreensão de que as falhas podem ocorrer por fatores que estão interligados, estando estes relacionados com a confiabilidade do equipamento, do processo, operacional e humana. Assim, neste trabalho também são feitos esclarecimentos da definição dos diversos tipos de confiabilidade, elucidando as características principais de cada uma, propondo uma metodologia de avaliação para integração dos seus tipos e aplicando-a a um caso prático. Além disso, a avaliação da influência de aspectos humanos (atenção, decisão, memória e compromisso) como potencial gerador de falhas que se mostra de fundamental importância, já que muitas falhas decorrem de erros humanos, sendo normalmente interpretadas como falhas em componentes de equipamentos/processo. A metodologia desenvolvida pode ser aplicada a diversos sistemas, entretanto cada caso deve ser analisado de forma individual para a determinação de seu modelo e consequente otimização de parâmetros. O método utilizado para o cálculo da confiabilidade integrada foi previamente aplicado em uma refinaria para o processo de bombeamento de propano. O estudo de caso escolhido se refere ao carregamento de HCl em indústria de fertilizantes localizada no Polo Petroquímico de Camaçari, devido à criticidade da operação e dos riscos associados.

Palavras-chave: Confiabilidade, Fatores Humanos, Falha Interdependente, Confiabilidade Sociotécnica, Erros Humanos

1. INTRODUÇÃO

O modelo que considera a taxa de falha constante é baseado no cenário ideal de que influências externas ou internas não alteram significativamente no tempo a estabilidade estrutural dos componentes de um sistema. Esta idealidade pode ser adotada em sistemas eletrônicos, onde a análise do contexto operacional indica uma constância nas condições de atuação do equipamento, tais como uma não variação significativa da temperatura atmosférica e uma influência pequena da intervenção humana nos processos de operação e manutenção dos mesmos. O projeto de carga sobre as estruturas de equipamentos e sistemas e a respectiva resistência deve considerar a variabilidade de carga e de resistência e indicar como manter as cargas abaixo da resistência, evitando assim a falha total. (LAFRAIA, 2001) Dessa forma, com o projeto e a manutenção preventiva pretende-se evitar a diminuição da resistência e reduzir sua variabilidade. Por outro lado, carga é definida como sendo a condição de operação sobre o sistema e o projeto do deve atender a uma certa demanda, garantindo a produção dentro das necessidades de carga pré-estabelecidas de operação. Este trabalho de pesquisa pretende indicar formas de ajuste qualitativo-quantitativo para evitar o controle indevido do sistema de

produção, resultante de: (a) automação mal instalada, (b) intervenções humanas de baixa qualidade (por exemplo mudança organizacional) ou ainda, (c) alteração do cenário ambiental. Este controle indevido pode gerar o aumento de carga, aproximando o sistema a seu nível máximo de resistência ou a redução da resistência a valores muito próximos da carga máxima, provocando falhas.

O trabalho é dividido em três etapas: Análise de projeto, Identificação dos fatores internos e externos que alteram a resistência e identificação de fatores sócio técnicos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A busca por maior produtividade e qualidade nos processos e produtos e pela minimização dos riscos e maximização da segurança tem levado as organizações a investir esforços no estudo da confiabilidade dos equipamentos industriais. LAFRAIA (2001) define as falhas como ocorrências em que há superposição entre os valores distribuídos das cargas e das resistências dos sistemas. Dessa forma, o projeto de carga sobre as estruturas de sistemas e a respectiva resistência deve indicar como manter a carga sobre o sistema e a sua variabilidade abaixo da resistência e da sua variabilidade evitando a falha total.

Ávila (2013a) ressalta a importância de se analisar a confiabilidade na indústria, não somente sobre os aspectos ligados ao equipamento, mas também à operação, ao processo e aos fatores humanos. A confiabilidade de processos trata de perdas referentes à qualidade no processo e no produto, visando atender especificações de clientes e requisitos. Visando ainda uma alta confiabilidade operacional, a análise da tarefa e a habilidade da operação que são ressaltados como fatores determinantes. A alta automação no controle industrial, aliado com um quadro enxuto de funcionários, com o acúmulo de funções, são tidos como causas de gerações de operadores direcionados à trabalhos administrativos, com precária experiência de campo, se tornando despreparados na identificação e proposição de soluções. Com uma experiência precária, as lideranças se tornam inábeis na tomada de decisão em situações de risco o dinâmico, direcionando os esforços apenas na contenção da crise instalada. Como fator agravante, a comunicação entre a operação e administração, responsável pela criação dos procedimentos definidos para a realização, na validação e internalização desses padrões tem se tornado difícil e, por vezes falha. Dessa forma, pode ocorrer um desalinhamento da proposta de procedimento com a realidade vivida na rotina da operação. Esse desalinhamento somado a falta de vivência no campo elevam os riscos de ocorrência de falha na execução da tarefa, potencializando o risco de acidentes no ambiente de trabalho. No trabalho realizado por Chidanbaram et al (2016) é realizada análise sobre a influência de fatores humanos e organizacionais na falha de equipamentos e de processos em empresas petroquímicas, sendo salientada a realidade de uma operação despreparada com um sistema altamente automatizado e o fato de que os seres humanos não apenas operam as unidades industriais, mas também às projetam, realizam manutenção e às constroem, validando a importância do estudo do erro humano na indústria.

Os estudos dos fatores humanos permeiam a análise do indivíduo sobre diversos aspectos. A relação que os funcionários possuem com a companhia e sua cultura organizacional refletirá em como o trabalhador valida e compreende a missão, visão e os valores da empresa, afetando no seu desempenho e satisfação. Líderes experientes e alinhados com a cultura organizacional são capazes de tomar decisões assertivas em curto espaço de tempo. e uma equipe mobilizada e comprometida é capaz de se auto gerir e alcançar as metas estabelecidas. O clima organizacional pode levar ao fortalecimento ou enfraquecimento do desempenho dos funcionários e seu vínculo com o ambiente e colegas de trabalho. O estresse causado por um ambiente instável gera alterações emocionais, que causam oscilações no julgamento, na atenção, na produtividade e na tomada de decisão dos funcionários, que, por fim, criam ambientes propícios à ocorrência de erros humanos. (ÁVILA, 2010) (ÁVILA 2013b) Ávila (2012) realizou a análise de risco humano-social em planta de produção de GLP, visando verificar o nível de risco de aspectos voltados para fatores humanos, sendo utilizados (a) modelo mental inadequado, (b) baixo comprometimento com resultados, (c) dificuldade em se lidar com equipes, (d) baixa percepção da falha e (e) resistência da comunidade. Os resultados encontrados indicam valores elevados de risco para problemas com lideranças, comprometimento e com o mapa mental, tendo sido propostas ações visando mitigar os problemas identificados.

A confiabilidade humana atuará de forma a garantir o desempenho adequado do operador na execução da tarefa, visando a não ocorrência de falhas por determinado período. Os aspectos psicológicos dos funcionários devem ser considerados como fatores a impactarem na execução da tarefa e, consequentemente na prevenção da falha. A personalidade do indivíduo em choque com os possíveis problemas no ambiente de trabalho já citados leva a problemas relacionados à assimilação de conteúdo, de etapas e de padrões necessários à execução correta da tarefa e problemas de interação social com os demais funcionários da equipe. Aliado ao aprendizado deficiente, flutuações no emocional do indivíduo que afetam a atenção e percepção para situações de risco potenciais, por falhas de memória, deslizos, e problemas em aceitar a autoridade da liderança vigente. (ÁVILA, 2010)

Ávila (Reliability analysis for socio-technical system, case propene Pumping) propõe um modelo de análise de Confiabilidade Integrada baseado em um sistema de equações, levando em consideração aspectos operacionais, ligados ao processo e à fatores humanos. O valor será calculado a partir da complexidade do processo envolvido, podendo ela ser alta (CA), média (CM) ou baixa (CB). Para cada nível de complexidade é proposto um cálculo através de uma equação, como pode ser verificado nas Eq. (1), Eq. (2) e Eq. (2), respectivamente.

Nessas equações, cada termo envolvido é função de fatores definidos pelo método formulado: C_{pr} é definida como a confiabilidade do processo, dependendo da criticidade das variáveis críticas e da forma como elas interferem nas saídas;

O termo C_{eq} se refere à criticidade do equipamento, sendo uma função das taxas de falha e MTBF do maquinário crítico; C_{op} é definida como a confiabilidade operacional, sendo função da complexidade das tarefas e custo relativo das mesmas. Por fim, C_{hu} se refere à Confiabilidade Humana, sendo função da tarefa, ambiente de trabalho e cultura organizacional. Para a determinação deste último fator, foi utilizado o método SPAR-H (Simplified Plant Analysis Risk-Human Reliability Analysis). Essa metodologia foi desenvolvida pela Comissão Reguladora da Indústria Nuclear Americana (NRC), em conjunto com o Laboratório Nacional de Idaho (INL), em 1994. Para cálculo da confiabilidade humana, foram definidos oito Fatores de Formação de Desempenho (‘): Tempo Disponível, Estresse/Agentes Causadores de Estresse, Complexidade da Tarefa, Experiência/Treinamento, Padrões e Procedimentos, Ergonomia/Relação Homem-Máquina (RHM), Aptidão à Tarefa e Relações de Trabalho. Estes fatores possuem valores específicos a depender da tarefa realizada, buscando definir a Probabilidade de Erro Humano (HEP), seguindo sempre o relatório do Laboratório Nacional de Idaho, que descreve a metodologia SPAR-H (Gertman, Blackman, Marble, Byers, Smith, 2005).

Com a definição dos termos utilizados no cálculo, a complexidade é definida para a escolha da equação a ser utilizada, levando em consideração uma análise de risco baseada em histórico, máquina e processo.

$$CA: CI = (C_{pr})^2 \times C_{eq} \times (C_{hu} \times C_{op})^{1/2} \quad (1)$$

$$CM: CI = C_{pr} \times C_{eq} \times (1,5 \times C_{hu} \times C_{op}) \quad (2)$$

$$BC: CI = (C_{eq})^{1/3} \times C_{pr} \times (1,7 \times C_{hu} \times C_{op})^2 \quad (3)$$

Sendo calculada a confiabilidade, e inserido um último cálculo, visando inserir no valor encontrado a influência de fatores como liderança, alarmes de emergência, estresse e saúde ocupacional, sendo usada a Eq. (4).

$$CI_{final} = \text{atratividade} \times CI \quad (4)$$

A aplicabilidade deste método é ampla e é uma boa forma de correção nos valores teóricos de resistência dos processos, de forma a criar um quadro específico do caso estudado, levando em consideração tanto os aspectos técnicos quanto os sociais. Como este método irá alterar o valor da Resistência, através dele, camadas de proteção podem ser adicionadas de forma a garantir com que a carga aplicada não cause danos significativos e que o objeto de estudo mantenha um alto grau de disponibilidade durante seu ciclo de vida (LAFRAIA, 2001).

A metodologia foi aplicada para o processo de bombeamento de propileno em uma refinaria. Foram estudados os quatro aspectos da confiabilidade (processo, equipamento, tarefa e fatores humanos), sendo determinadas as confiabilidades referentes à cada um deles. A confiabilidade operacional referente à tarefa foi encontrada a partir de metodologia de cálculo definida por Ávila (2013a), sendo ela uma função da complexidade da tarefa, através da equação (5).

$$C_{op}(\%) = \left[100 - \left(\frac{\text{LOG(Complexidade)}}{4} \right) \times 100 \right] \quad (5)$$

A Confiabilidade Humana foi calculada a partir da metodologia descrita por SPAR-H, que propõe equações para o cálculo da probabilidade do erro humano, associada à análise de fatores de performance, definidas pela equação (6), equação (7), entretanto se pelo menos três fatores dos aspectos avaliados tiverem valor maior que 1, é faz-se necessário corrigir o valor do da probabilidade de erro através das equações 8 e 9. Uma vez calculados os erros para os aspectos avaliados da atividade (ação e diagnóstico) utiliza-se a equação 10 para avaliação do erro da atividade. As equações são empregadas para determinar as probabilidades de erro humano diagnosticadas ($HEP_{Diag.}$) e relacionadas à ação ($HEP_{Ação}$), sendo a probabilidade de erro humano total definida como a somada dos dois fatores. Durante o estudo de caso realizado, os fatores de performance usados foram: tempo disponível, estresse, complexidade da tarefa, experiência, treinamento, procedimentos, ergonomia, adequação para o trabalho e relacionamentos no trabalho.

$$HEP_{Ação} = 1 \times 10^{-2} \times \prod PSF \quad (6)$$

$$HEP = \frac{NHEP.PSF_{composto}}{NHEP.(PSF_{composto} - 1) + 1} \quad (9)$$

$$HEP_{Diag.} = 1 \times 10^{-3} \times \prod PSF \quad (7)$$

$$HEP = HEP_{Diag.} + HEP_{Ação} \quad (10)$$

$$PSF_{Composto} = \sum PSFr \quad (8)$$

$$C_{hu} = 1 - HEP \quad (11)$$

Ávila (2014) encontrou resultados com base em diferentes premissas de complexidade e atratividade para o estudo de caso, encontrando resultados em que a Confiabilidade Integrada atingiu valores de 98%, considerando atratividade muito boa e baixa complexidade, a 68%, considerando alta complexidade.

Tendo como base a importância do estudo e dos resultados encontrados por Ávila (2014), o presente artigo visa aplicar a metodologia de cálculo no processo de carregamento de ácido clorídrico em uma indústria de fertilizantes localizada no Polo Petroquímico de Camaçari. O ácido é um subproduto do processo principal da fábrica, não sendo tratado nem usado pela empresa, sendo vendido como forma secundária de obtenção de lucro. Para tal, existem docas de carregamento do HCl, onde caminhões são acoplados, através de mangueiras e mangotes, e o carregamento dos mesmos é realizado através da supervisão de um operador local com o auxílio de operadores painelistas que ficam situados na Sala de Controle, realizando todas as manobras de operação necessárias para carregar os veículos.

Este é um dos processos críticos da Companhia (haja vista que o HCl é um produto altamente agressivo, que afeta a segurança de pessoas, planta e comunidades vizinhas), e também é um processo cujos equipamentos sofrem um alto número de manutenções não planejadas. Logo, foi verificado que existem pontos de melhoria de equipamentos, procedimento e segurança que podem ser efetuados através do estudo realizado.

Sendo assim, tendo como objetivos principais a busca do aumento da disponibilidade dos equipamentos relacionados, um maior grau de ergonomia e conforto para as pessoas que realizam este procedimento e um maior nível de segurança de processo para evitar assim possíveis incidentes que são indesejáveis para qualquer indústria química, a metodologia de cálculo para Confiabilidade Integrada proposta por Ávila (2014) foi aplicada para esse processo da empresa.

3. METODOLOGIA

As etapas para o cálculo da Confiabilidade Integrada estão evidenciadas no modelo esquemático presente na Figura 1. De acordo com o proposto, serão encontrados os valores para as confiabilidades de processos, dos equipamentos, humana e operacional. Posteriormente, será identificada a atratividade social do sistema e, por fim, será encontrado o valor final da confiabilidade integrada.

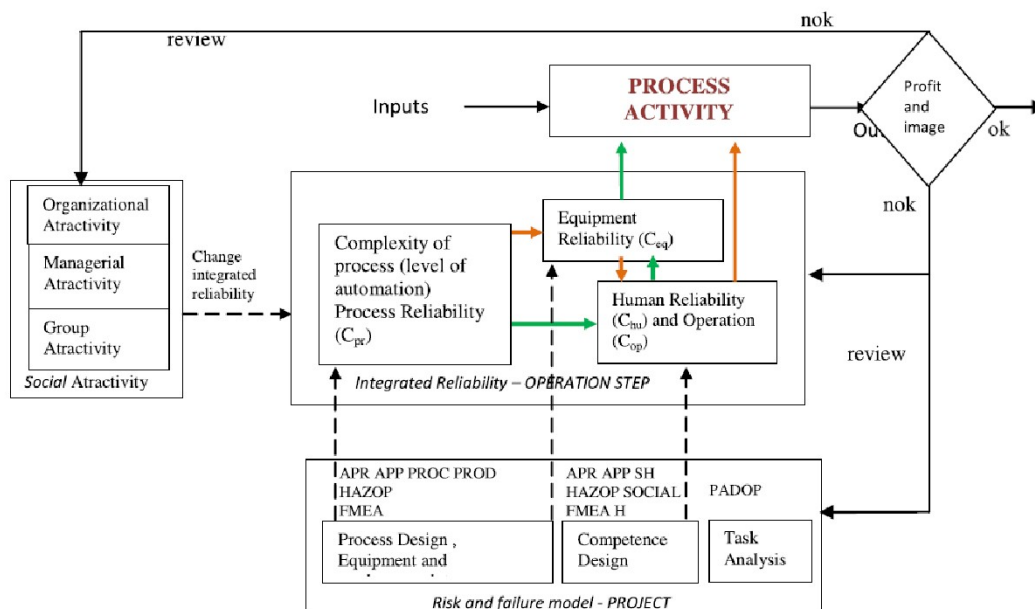


FIGURA 1. Etapas de cálculo da confiabilidade integrada

Para o carregamento de HCl em carretas, a avaliação da confiabilidade de equipamentos (C_{eq}) foi feita buscando o histórico de falha para um determinado período de tempo das duas bombas redundantes utilizadas no processo. A partir desse sistema, avalia-se as falhas apontadas para estes equipamentos, avaliando a causa raiz e posteriormente, calcula-se a confiabilidade desse sistema redundante. Para o cálculo da confiabilidade do sistema, foi necessária a análise das falhas até obter uma tendência de comportamento das falhas e consequentemente da taxa de falha, como pode ser visto no esquema simplificado apresentado na Figura 2, abaixo. Assim, a distribuição apropriada pode ser utilizada.



FIGURA 2. Etapas de cálculo da confiabilidade dos equipamentos

A (confiabilidade humana (C_{hu}) no processo foi avaliada através do método SPAR-H, onde os fatores de desempenho humano (performance shapping factors - PSFs) são discutidos. O SPAR-H pode ser aplicado com os dados obtidos em interviews com os trabalhadores que realizam ou que estão envolvidos nas atividades, bem como, de quem o gerencia e compreende seu funcionamento. O questionário utilizado para mapear os fatores segundo a metodologia encontra-se em anexo, ele foi utilizado para obter a perspectiva sobre a comunicação na realização da tarefa, nível de conhecimento/treinamento para realizar da atividade, complexidade, conformidade com o procedimento, através da ótica de quem tem contato direto e frequente com o sistema. Além disso, visitas ao local onde a atividade é realizada foram feitas para a compreensão da cultura do ambiente, assim como a busca e a avaliação de procedimentos e checklist relacionados à atividade. A partir das percepções coletadas, o método foi aplicado para encontrar o valor da confiabilidade humana.

No que se refere ao processo envolvendo HCl, as condições de temperatura e concentração garantem o controle do processo e são mantidas através dele, além das redundâncias e salvaguardas do sistema. Dessa forma, tem-se como premissa que a confiabilidade do processo (C_{pr}) é fixa e a mesma foi fixada com o valor de 99%.

O método para o cálculo da confiabilidade operacional (C_{op}) do sistema foi definido por ÁVILA (2013), tendo sido proposto e validado para um caso de um sistema de bombeamento de propeno em uma indústria petroquímica. Foi primeiramente definida a complexidade operacional, levando em consideração os aspectos de disciplina na realização da atividade, tecnologia no controle de processo e segurança, nível de atenção na tarefa, a linearidade do processo estudado e a presença de sistemas de controle auxiliares. Com a complexidade definida, foi calculada a confiabilidade operacional, a partir da Eq. (5).

Com os valores encontrados para cada tipo de confiabilidade, foi determinada a atratividade social do sistema estudado e, por fim, a confiabilidade integrada foi calculada, de acordo com a complexidade do processo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A compreensão das causas dos modos de falha dos equipamentos reside na efetiva prevenção/predição das falhas e manutenção da disponibilidade dos sistemas. Compreendemos que quando a carga (vazão, pressão, gradiente de temperatura) aplicada no equipamento excede a Resistência (entendida através de suas propriedades físicas como dureza, resistência mecânica e ponto de fusão) do material oferecida pelo material. Normalmente, estas causas de falhas são entendidas como problemas mecânicos isolados - como desgaste natural do material, trincas por fadiga, trincas de corrosão sob tensão ou vazios de fluência que atingem uma quantidade crítica no material - em componentes dos equipamentos.

A avaliação da confiabilidade integrada, por sua vez, expõe as influências de todos os aspectos do processo na ocorrência das falhas. Desse modo, é possível compreender que a atuação do operador de campo ou de painel repercute no equipamento, gerando uma interdependência dos modos de falha. Esses aspectos mencionados já compõem o cálculo da confiabilidade do equipamento, uma vez que, estas falhas integram as estatísticas de falha do sistema/processo que são utilizadas para o cálculo a taxa de falha e posteriormente da confiabilidade.

Desse modo, a avaliação e cálculo da confiabilidade integrada, utilizando o método proposto tem por função mostrar que a falha humana apresenta uma considerável parcela de contribuição nas falhas que ocorrem nos equipamentos. Isso significa que, o estado do operador pode gerar distração, desinteresse, falta de atenção às tarefas realizadas. Assim, o operador pode atuar de forma lenta quando um alarme é acionado, acarretando uma sobrecarga do equipamento, que de forma cumulativa pode contribuir para a falha. Uma vez mapeadas e tratadas estas causas, as falhas podem ser significativamente reduzidas, diminuindo os custos de manutenção e aumentando a disponibilidade dos sistemas e operações.

4.1. Confiabilidade Humana

A avaliação da confiabilidade humana foi realizada com aplicação do método SPAR-H (2005) através dos critérios (PSFs) do método. Foram realizadas entrevistas com operadores de campo do processo, bem como de gestores da área, aplicando-se um questionário formulado para atender aos critérios que deveriam ser estudados. Desse modo, os resultados foram compilados e analisados, atribuindo níveis para cada um dos oito critérios que o método explicita, sendo eles: stress, complexidade, ergonomia/IHM, disponibilidade de tempo, processo de trabalho, experiência/treinamento, adequação para a atividade e procedimento. Esses níveis estão relacionados com valores numéricos, que irão compor o cálculo da probabilidade do erro humano, levando ao valor da confiabilidade humana. Além disso, segundo o método, a tarefa de carregamento de HCl pode ser classificada em diagnóstico e/ou ação.

O critério processo de trabalho se refere aos aspectos de realizar o trabalho, incluindo cultura de segurança, planejamento do trabalho, comunicação e políticas e suporte à gestão dos processos de trabalho. Em outras palavras, como a performance individual ou do time pode ser afetada a depender de como o trabalho é planejado, comunicado e executado. No caso estudado, foi verificado que o processo de trabalho é bom, uma vez que existe boa comunicação, políticas bem compreendidas e de apoio e time com bom relacionamento.

A avaliação do critério adequação para a atividade está relacionada com a aptidão física e mental do operador para a realização da tarefa. Desse modo, a análise do critério determinou que o nível de adequação para a atividade é nominal, uma vez que não se observa uma perda de desempenho do operador, ou seja, este é capaz de realizar tarefas.

A Ergonomia/IHM refere-se à qualidade e quantidade de informações disponíveis da instrumentação, ao nível de informações do operador com o equipamento para realizar tarefas, layout do painel. A Ergonomia/IHM foi considerada ruim pois a responsabilidade pela doca de carregamento é da área “1”, entretanto, operação do carregamento de carreta é atribuída ao operador e ao painelista pertencentes à área “2”, o que exige comunicação extra entre as áreas e dificulta visualização e ação no painel de controle.

O critério procedimento se refere ao à existência e efetiva aplicação de procedimentos para a realização de uma determinada tarefa. Foi possível identificar que os procedimentos têm orientações adequadas para a realização da atividade. Por vezes, foi indicado nas entrevistas que seria possível a realização da tarefa menos que não houvesse experiência prévia na execução. Entretanto, no que se refere ao procedimento para realização de diagnóstico, este foi considerado incompleto, uma vez que, considera-se a falta de informações específicas sobre o processo que seriam necessárias na tomada de decisão.

O critério experiência/treinamento é utilizado para avaliar o tempo de treinamento ou o grau de experiência do operador. Como exemplos podemos citar informações como o tempo de experiência do operador, quanto tempo se passou até o último treinamento/leitura de documentos referências para compreensão da atividade. Como mais de 90% dos operadores tem uma larga experiência na realização de atividades da planta, esta foi considerada alta segundo avaliação do critério do método SPAR-H.

Para o critério Stress se refere ao às forças motivacionais negativas e positivas relacionadas à performance humana. Sendo assim, stress em modo ‘normal’ pode ser considerado positivo para manter o operador alerta, motivado, ou seja, repercutindo positivamente em sua performance. Por outro lado, níveis altos de stress impactam na capacidade do operador de concluir uma atividade, uma vez que atrapalham a atenção, afetam física e mentalmente o operador. Dentre os aspectos que interferem no nível de stress podemos citar calor excessivo, ruído, falta de ventilação, posições desconfortáveis para realização da tarefa. Desse modo, foi possível avaliar através das entrevistas que o nível de stress é alto. Isso acontece principalmente porque a tarefa é realizada com EPIs durante todo o descarregamento o que gera um certo desconforto, em especial durante os dias de verão em que o calor é excessivo. Outro fator observado, é a variação do domo da carreta - em algumas situações ele é muito pequeno - o que torna a tarefa de conexão dos mangotes ergonomicamente desconfortável para na situação mencionada.

Diagnóstico		
Fatores	Níveis do Fator	
Tempo Disponível para realizar a diagnóstico	Extra	0,1
Stress	Alto	2
Complexidade	Moderada	2
Experiência/ Treinamento	Alta	0,5
Procedimento	Incompletos	20
Ergonomia/Interface Homem Máquina	Ruim	10
Adequação para realizar a tarefa	Normal	1
Processo de trabalho	Bom	0,8

Ação		
Fatores	Níveis do Fator	
Tempo Disponível para realizar a diagnóstico	Extra	0,1
Stress	Alto	2
Complexidade	Moderada	2
Experiência/ Treinamento	Alta	0,5
Procedimento	Nominal	1
Ergonomia/Interface Homem Máquina	Ruim	10
Adequação para realizar a tarefa	Normal	1
Processo de trabalho	Bom	0,5

TABELA 1. Detalhes dos fatores escolhidos para diagnóstico e ação para os critérios SPAR-H.

O critério Complexidade diz respeito à dificuldade em realizar a tarefa levando em conta o contexto especificado. Em outras palavras, o risco de erro humano aumenta quando o ambiente em que a atividade está sendo realizada apresenta barreiras que geram ambiguidade na tomada de decisão, exigem maior esforço físico (grande esforço para realizar ações) ou mental (cálculo mental, recobrar da memória) ou ainda que oferecem distrações e tarefas em paralelo. A avaliação desse critério permitiu concluir que a complexidade relacionada com a ação e diagnóstico da tarefa é moderada, uma vez que, a operação de carregamento de HCl pode ter necessidade de ser feita simultaneamente com descarregamento de duas matérias-primas no caso da planta estar operando próximo de sua capacidade máxima, gerando elevação no nível do tanque de HCl e alta demanda de matérias-primas para produção. Além disso, o HCl é um produto considerado perigoso, que devido a sua alta volatilidade, libera vapores tóxicos que ao serem inalados são corrosivos para a mucosa, olhos e pele.

O critério Tempo Disponível está relacionado com o tempo que o operador tem para diagnosticar ou agir em resposta a uma situação adversa. Esse tempo influenciará a maneira como o operador poderá reagir e sugerir alternativas, ou seja, afetará o seu desempenho em uma situação que demanda atuação. Este tempo é considerado nominal para ação, uma vez que o operador precisa agir rápido em resposta a uma situação adversa, com demandas como acionamento de botoeiras, comunicação ao painel pelo rádio para convocação do time de brigadista, entretanto, há

tempo suficiente para ação do operador. Para diagnóstico o tempo foi considerado extra, já que, em situações de anormalidade, dispositivos de segurança irão atuar e levar a planta para uma condição segura, e um diagnóstico poderá ser realizado após o retorno à uma condição segura (contenção, controle da pressão, etc).

Para a determinação do erro humano, foram utilizados os fatores determinados na tabela 1, levando em conta a avaliação do diagnóstico e da ação para o cálculo da probabilidade de erro humano (HEP) em cada um desses aspectos da atividade através das Equações de 6 a 9. A Equação 10 foi utilizada para contabilizar a probabilidade de erro humano considerando os aspectos de diagnóstico e ação na atividade avaliada e, por fim, a confiabilidade humana foi calculada através da Equação 11, obtendo-se um valor de 71%.

4.2. Confiabilidade do equipamento

O cálculo da Confiabilidade do Equipamento (C_{eq}) está diretamente relacionado à capacidade que o sistema estudado possui de se manter operacional durante sua utilização. Seguindo a metodologia proposta por LAFRAIA (2001), foi utilizada a distribuição exponencial, que considera que os equipamentos possuem uma taxa de falhas constante e cuja única variável dependente é a Taxa de Falhas (λ).

Como configuração para o sistema, foi considerado que as duas bombas que participam do bombeamento de HCl estão em paralelo, e que elementos como Chaves de Nível, mangotes e válvulas de alívio de pressão (PSVs) estão em série com as bombas já que eles são de uso comum para ambos os sistemas de bombeamento, criando assim um sistema misto, como mostrado no sistema da Figura 3.

Foi levantado o histórico de falhas para o sistema e filtradas as falhas onde ou houve uma perda da disponibilidade dos equipamentos quando eles foram requisitados pela equipe de produção ou houve vazamento de produto para fora do volume de controle estudado, haja vista que o HCl é um químico com alto grau de periculosidade e que pode gerar acidentes para os operadores da companhia.

Após filtragem dos dados do histórico, selecionando somente as intervenções relevantes para a análise feita, foi levantado os valores das confiabilidades dos equipamentos e encontrado o valor de 72% para o sistema de bombeamento de HCl.

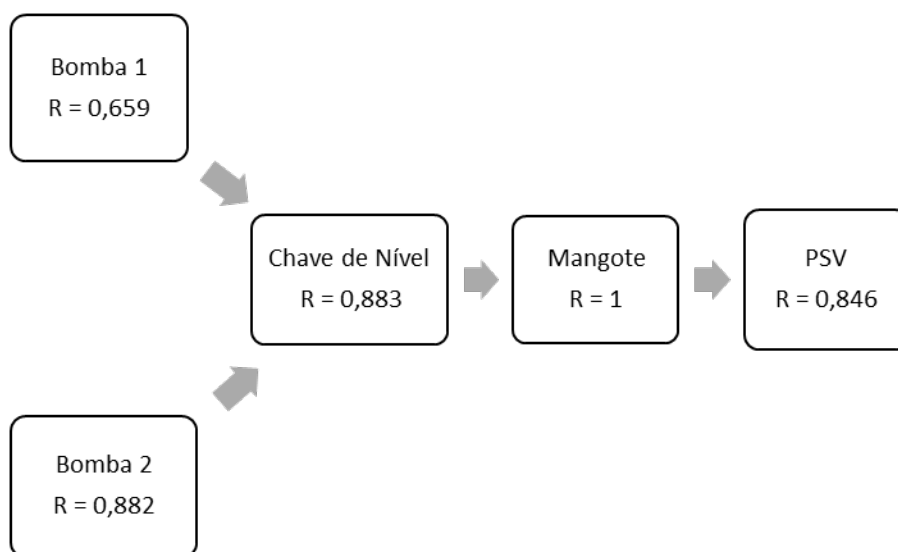


FIGURA 3. Esquema dos equipamentos e suas confiabilidades considerados para o cálculo de confiabilidade do sistema.

4.3. Confiabilidade Operacional

O cálculo proposto por Ávila (2013a) para a confiabilidade operacional foi realizado identificando primeiramente a complexidade da tarefa estudada. São identificados cinco fatores para a determinação da complexidade. O primeiro fator (A) é denominado Cumprimento da tarefa e se relaciona com a disciplina operacional, levando em consideração vícios, traços regionais e traços comportamentais. O valor definido foi de 5%, levando em consideração a robustez da cultura organizacional da empresa em que o processo foi estudado. O segundo critério (B) é o tipo de tecnologia em controle de processo adotada. Esse fator identifica que um alto nível de automação acaba gerando um aumento da complexidade pelas ferramentas utilizadas por essa tecnologia. O processo de bombeamento possui toda uma estrutura de sistemas de instrumentação e controle que garante com que as variáveis (vazão de fluido, pressão, nível de tanques, etc.) estejam sempre sendo monitoradas através dos operadores situados na sala de controle, assim, foi definido o valor de 30% devido ao alto grau de automação que a empresa possui e pela preocupação com a periculosidade do produto trabalhado.

O terceiro critério (C) estudado está relacionado com os tipos de equipamentos com instrumentos de controle instalados. A análise do processo demonstrou que ele não possui atrelado a ele muitos sistemas auxiliares que necessitam de operações e controles para que a função primária do sistema seja atendida, logo foi definido o valor de 10% para este critério.

O quarto critério (D) reflete no número de etapas do processo que são realizados com interface entre mais que um operador; esta característica do processo aumenta a complexidade do mesmo, pois pode existir uma perda na confiabilidade devido aos diferentes níveis de treinamento que existe entre os operadores de uma mesma empresa e a perda de informação que pode existir na comunicação direta de ambos na área de trabalho. Após detalhamento das etapas do processo de carregamento de HCl, foi constatado que 20% das tarefas são realizadas com diferentes trabalhadores.

Por fim, o último critério (E) necessário para que o Nível de Complexidade do processo seja encontrado é o grau de atenção requerido para a realização da tarefa por parte do operador. Por analogia ao processo de bombeamento de Propeno estudado por ÁVILA, foi definido um valor de 20% para este critério.

Disciplina operacional (A)	Tecnologia em controle e segurança de processos (B)	A presença de sistemas auxiliares que requerem operações e controles para a função (C)	O nível de atenção na tarefa (D)	Porcentagem do fluxo de reciclagem das linhas de fluxo (E)
5%	30%	10%	20%	20%

TABELA 2: Valores dos critérios para cálculo da confiabilidade operacional, através da Equação 5.

Assim, multiplicando os valores definidos dos cinco critérios estudados, temos que o Nível de Complexidade é equivalente a 6, e, aplicando a Equação 5, foi encontrado o valor para R_{op} de 80,5%.

4.4. Confiabilidade Integrada

Após a avaliação de cada confiabilidade (operacional, de equipamentos, de processo, e humana) através dos dados obtidos em campo, a confiabilidade integrada pode ser calculada através do método proposto por Ávila (2014). Para isso, foi determinada a complexidade do sistema em estudo. O nível de complexidade definido foi baixo. Apesar do processo de carregamento de HCl apresentar periculosidade alta, relacionada com os riscos do produto, foi levado em consideração a complexidade da tarefa de carregamento no que se refere à operação, sistema de bombeamento e experiência dos operadores envolvidos no campo. Dessa forma, foi aplicada a Equação 3 para o cálculo, resultando em um valor de confiabilidade de 81%. Por fim, foi definida a atratividade social da atividade como média. Segundo método descrito por de Ávila (2015), esse nível de atratividade equivale a um fator igual à 1. Sendo assim, com a aplicação da Equação 4, o valor final para a confiabilidade integrada encontrado foi de 81%.

5. CONCLUSÃO

A partir do desenvolvimento deste trabalho e com base nos resultados obtidos, foi possível compreender as interações entre as confiabilidades calculadas. Foi possível validar o algoritmo sugerido por Ávila, mostrando o potencial do método de análise de confiabilidade para padronização de avaliações.

A influência dos aspectos voltados à tarefa e aos fatores humanos podem ser observados pois, apesar do valor encontrado da confiabilidade dos equipamentos do sistema ser de 72%, percebe-se que a influência das demais confiabilidades impactaram positivamente no resultado final, atingindo 81%. Esses fatores podem ser explicados pela solidez da organização e consolidação dos procedimentos da operação. O resultado das diferentes confiabilidades encontrados ajudam na tomada de decisão para o direcionamento de investimentos de melhoria da organização, levando à assertividade em nível gerencial.

6. REFERÊNCIAS

- ÁVILA, S.F., Sousa CRO, Silva CC. Worker behavior changing by dynamic culture. In: 9o Global congress in process safety GCPS. San Antonio; 2013b.
- ÁVILA, S.F., Etiology of operational abnormalities at industry, a model of learning, Doctorate, Thesis at UFRJ; 2010.
- ÁVILA, S.F., Operational excellence through integrated reliability. In: 1st Brazilian conference in reliability, risk and safety of process. ABRISCO; 2013a.
- ÁVILA, S.F. Reliability analysis for socio-technical system, case propene pumping. Engineering Failure Analysis, v. 56, p. 177-184, 2015.
- ÁVILA, S.F., Lopes, J.R.N., Silva, J.M.P., Water and energy availability analysis, a proposal for management for chemical industry, AIChE, 2016.

- ÁVILA, S.F., Mendes, P.C.F., Carvalho, V., Amaral, J., Análise de fatores humanos em falha de equipamento FMEAH de turbocompressor em planta química,
- ÁVILA, S.F., Pessoa, F.L.P. and Andrade, J.C.S., Social HAZOP at an Oil Refinery, Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com), 2013c.
- ÁVILA, S.F., Reliability analysis for socio-technical system, case propene pumping,
- CHIDAMBARAM, Palaniappan. Perspectives on human factors in a shifting operational environment. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, v. 44, p. 112-118, 2016.
- GERTMAN, David et al. The SPAR-H human reliability analysis method. US Nuclear Regulatory Commission, 2005.
- LAIRA, J.R.B., Manual de Confiabilidade e Disponibilidade, Qualitymark, 2001. ScienceDirect, 13 March 2015.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

ANALYSIS OF THE RELIABILITY MODEL FOR INTERDEPENDENT FAILURE MODE, A DISCUSSION ON HUMAN ERROR, ORGANIZATIONAL AND ENVIRONMENTAL FACTORS

Salvador Ávila Filho¹, avilasalva@gmail.com
Maria Lorena Souza², marialoorena@gmail.com
Guilherme Ramalho¹, Ramalho.engmec@gmail.com
Ivan Costa Passos¹, ivan.passos@hotmail.com
Amanda Ramos Oliveira¹, amandarmo@gmail.com

¹Universidade Federal da Bahia, R. Prof. Aristides Novis, 2 - Federação, Salvador - BA, 40210-630

² Monsanto

Abstract.

In an increasingly globalized world, the need to manage energy resources - increasingly limited - is reaffirmed. In this way, it is important that in the industry, the performance of equipment and processes is increasingly efficient. This is achieved not only by acting in an equipment and its components, but by using tools that can improve organizational effectiveness and thus increase the performance of teams interacting with these equipment, reducing the number of failures. The total failure of an equipment happens when the load acting on one or more of its component exceeds its resistance. This occurs when the resistance in the system decreases, such as in the case of fatigue, or because of system overload. The need to evaluate the internal and external influences in the process and the operational aspects that cause changes in the loads or resistances of the system appears. In this context, in this work is described a method of evaluation of the project and operation, also are determined the socio-technical influences that generate the fault. In this process, it is necessary to understand that failures can occur due to interconnected factors, which are related to the reliability of the equipment, process, operational and human. This work also clarifies the definition of the different types of reliability, elucidating the main characteristics of each one, proposing an evaluation methodology to integrate its types and applying it to a practical case. In addition, the evaluation of the influence of human aspects (attention, decision, memory and commitment) as a potential fault generator that is of fundamental importance, since many failures are due to human errors, and are usually interpreted as faults in equipment / process. The methodology developed can be applied to several systems, however each case must be analyzed individually for the determination of its model and consequent optimization of parameters.

Keywords: Reliability, Human Factors, Interdependent Failure, Integrated Reliability