

## **Influência dos Fatores Humanos e Organizacionais na Segurança Industrial: uma abordagem metodológica na prevenção de acidentes com perda de contenção de hidrocarbonetos, produtos químicos ou perigosos**

Santos, L. F. M.  
UFRJ/PEA, Brasil

Luquetti dos Santos, I. J. A.  
CNEN/IEN, Brasil

### **RESUMO**

O crescimento mundial das atividades de exploração, produção, armazenamento e transporte de hidrocarbonetos, produtos químicos e perigosos têm exposto o meio ambiente a riscos inerentes à característica desses produtos. Atuar na prevenção de acidentes é fundamental para a continuidade das operações sem que acarrete danos à população, patrimônio e meio ambiente. Os esforços demonstrados por empresas, após ocorrência de acidentes catastróficos ao longo dos anos, evidenciaram melhorias significativas de técnicas, normas, sistemas de gestão e padrões de integridade das instalações industriais. No entanto, a existência de causas relacionadas a fatores humanos e organizacionais exigem ações específicas, por uma série de razões: dificuldades encontradas no cumprimento de regras, diferenças entre o trabalho real e prescrito, impossibilidade de previsão e prescrição de recomendações para todos os desvios que possam existir. Estas causas devem ser consideradas na gestão preventiva de acidentes e ações com foco em fatores humanos e organizacionais devem ser integradas na cultura empresarial. O objetivo desse trabalho é propor uma abordagem metodológica que analise a influência dos fatores humanos e organizacionais na segurança industrial em empresas com potencial de acidentes com perda de contenção de hidrocarbonetos, produtos químicos ou perigosos.

Palavras-Chave: Segurança de Processo, Acidentes Ampliados, Fatores Humanos

### **1. INTRODUÇÃO**

Ao longo da história, muitos foram os grandes acidentes com perda de contenção de produtos químicos ou perigosos, os quais resultaram em consequências catastróficas, quer seja com perdas humanas, patrimoniais ou ambientais. Tais acidentes possuem características comuns, dentre as quais, de grande relevância, destacam-se as condições do processo produtivo que favoreceram a ocorrência destas tragédias.

Segundo Danillou [1], muito se investiu para a melhoria deste cenário de perdas. Os esforços demonstrados melhoraram significativamente técnicas, integridade das instalações industriais, normatizações e sistemas de gestão. No entanto, os resultados foram limitados, por uma série de razões: dificuldades encontradas no cumprimento de regras, diferenças entre o trabalho real e prescrito, impossibilidade de previsão e prescrição de recomendações para todos os desvios que possam existir. Estas causas estão inteiramente correlacionadas a fatores humanos, demonstrando que este aspecto deve ser aprimorado para alcançar o resultado desejado em segurança nos processos produtivos.

Atualmente, a responsabilidade socioambiental é fundamental para a obtenção de vantagens competitivas perante a sociedade e aos investidores e até mesmo para a sobrevivência da empresa. De acordo com BBC [2], pesquisas apontam que após o acidente no Golfo do México em 2010 o valor das ações da empresa responsável pelo acidente caiu severamente, além de ter um prejuízo de

US\$ 4.914 bilhões só naquele ano. Considerado o pior vazamento da história dos Estados Unidos, com 4,9 milhões de barris de petróleo no Golfo do México, também ocasionou a morte de 11 pessoas.

Em organizações com potencial de acidentes com perda de contenção de hidrocarbonetos, produtos químicos ou perigosos, ou seja, com potencial de ocorrência de grandes acidentes, a abordagem a fatores humanos e organizacionais é essencial para a prevenção de acidentes, a perpetuidade empresarial e a proteção ao meio ambiente.

## **2. OBJETIVOS DO TRABALHO**

O principal objetivo desse trabalho é apresentar uma estrutura metodológica centrada na alocação dos fatores humanos no ciclo de vida de uma instalação industrial, de modo a minimizar a influência dos fatores humanos e organizacionais nos acidentes de processo, no decorrer da realização das atividades industriais.

## **3. DESCRIÇÃO DO TRABALHO REALIZADO**

### *3.1 Metodologia do Trabalho e Pesquisa*

Para atender aos objetivos propostos, esta pesquisa será dividida da seguinte forma:

- Inicialmente será apresentada uma fundamentação teórica dos principais temas abordados neste trabalho com o objetivo de demonstrar e discutir as abordagens de diferentes autores, expondo os principais conceitos e modelos referentes à Segurança de Processo e Fatores Humanos;
- Após, serão apresentados dados da pesquisa realizada sobre o tema;
- Os dados serão analisados, juntamente com o conhecimento adquirido de revisão bibliográfica e de outros estudos sobre o tema;
- Por fim, expor-se-á a conclusão do trabalho e recomendações que poderão ser adotadas por empresas para a prevenção de acidentes ampliados.

### *3.2 Grandes Acidentes da Indústria Química e do Petróleo*

Segundo a Fundacentro [3], a possibilidade de acidentes industriais maiores, hoje mais significativa com o aumento da produção, armazenamento e utilização de substâncias perigosas, põe em evidência a necessidade de um enfoque sistemático e bem definido do controle dessas substâncias para proteção dos trabalhadores, do público e do meio ambiente.

De acordo com a corretora de seguros Marsh [4], a falha de múltiplos processos e sistemas de segurança é a causa mais comum dos maiores danos ao patrimônio de refinarias, petroquímicas, processadoras de gás, empresas de terminais e distribuição e plataformas no mundo todo. Estima-se que os danos causados ao patrimônio destas empresas geraram perdas de US\$ 34 bilhões desde 1974, no mundo todo, com a maioria dos acidentes registrados em setores offshore e em refinarias. O negócio das atividades com hidrocarboneto é tal que, em todas as operações, há o potencial de exposição a riscos, devido à natureza dos materiais a serem extraídos, transportados, e processados. Segundo França [5], a evolução do trabalho ocasionou a evolução dos riscos associados a estes, e com isso, o estudo da interação do trabalhador com os sistemas complexos de trabalho torna-se essencial para a promoção de um ambiente seguro, eficiente e que permita a continuidade da evolução tecnológica.

Cada vez mais as operações da indústria estão se movendo para ambientes mais perigosos (águas mais profundas, climas mais extremos, ou localizações mais remotas). Portanto, as decisões sobre qualquer desenvolvimento ou operação devem se basear numa avaliação completa dos riscos associados para identificar as medidas que podem ser tomadas para evitar perdas para a operação, segundo Marsh [4].

A Tabela 1 apresenta de forma consolidada os acidentes relacionados a segurança de processo na indústria química e petroquímica com maiores perdas no mundo, sendo que para a indústria de petróleo são consideradas as atividades petroquímica, de processamento de gás, de terminais e distribuição, de refinaria e de extração e produção em plataformas de petróleo.

Tabela 1 - Acidentes de destaque na Indústria Química e Petroquímica relacionados a Segurança de Processo

Fonte: Adaptado. Marsh [4]. Kletz [6].

| Data | Lugar             | País            | Tipo de unidade produtiva          | Fenômenos  | Perdas Humanas  | Perdas Materiais *1   |
|------|-------------------|-----------------|------------------------------------|--|---|-----------------------|
| 1966 | Feyzin            | França          | Refinaria                          | Vazamento de GLP - BLEVE                                   | 15 a 18 mortes<br>aproximadamente 80 feridos  | *2                    |
| 1972 | REDUC             | Brasil          | Refinaria                          | Vazamento de GLP - BLEVE                                   | 42 mortes<br>aproximadamente 80 feridos   |                       |
| 1974 | Flixborough       | Inglaterra      | Planta de produção de caprolactama | Vazamento de Ciclohexano                                   | 28 mortes<br>aproximadamente 104 feridos  |                       |
| 1976 | Seveso            | Itália          | Usina Química                      | Nuvem de dioxina   | 193 doentes   |                       |
| 1980 | Kielland          | Noruega         | Sonda SemiSubmersível              | Adernamento  | 123 mortos  |                       |
| 1984 | Bhopal            | Índia           | Fabricação de pesticidas           | Liberção de 40 toneladas de gases tóxicos                  | Aprox. 25.000 mortos e 150.000 doentes<br>fechamento da fábrica   |                       |
| 1984 | San Juanico       | México          | Terminal de GLP                    | Bleve  | 650 mortos; 6000 feridos além de desabrigados<br>devastamento de 5 quarteirões do entorno<br>grandes perdas materiais e de produção |                       |
| 1984 | Vila Socó         | Brasil          | Duto                               | Vazamento/Explosão   | Oficialmente 93 mortos, mas estimativas chegam a 500  | US\$ 1.810.000.000,00 |
| 1984 | Enchova           | Brasil          | Plataforma                         | Blowout  | 37 mortos   |                       |
| 1988 | Piper Alpha       | Mar do Norte    | Plataforma                         | Vazamento de condensado de gás natural seguido de explosão | 167 mortes<br>grandes perdas materiais e de produção  |                       |
| 1988 | Enchova           | Brasil          | Plataforma                         | Explosão/Incêndio  | -   | US\$ 700.000.000,00   |
| 1988 | Henderson         | USA             | Petroquímica                       | Explosão   | 2 mortos e 350 feridos  | US\$ 640.000.000,00   |
| 1988 | Norco             | USA             | Refinaria                          | Explosão de nuvem de vapor                                 | 4 mortos e 42 feridos   | US\$ 610.000.000,00   |
| 1989 | Pasadena          | USA             | Petroquímica                       | Explosão de nuvem de vapor                                 | 23 mortos e 232 feridos   | US\$ 1.400.000.000,00 |
| 1989 | Baker             | Golfo do México | Plataforma                         | Explosão/Incêndio  | 7 mortos  | US\$ 830.000.000,00   |
| 1992 | Guadalajara       | México          | Duto                               | Explosão/Incêndio  | Oficialmente 206 mortos, mas estimativas chegam a mais de 1000  | *2                    |
| 1997 | Bintulu           | Malásia         | Processamento de gás               | Explosão/Incêndio  | 12 feridos  | US\$ 490.000.000,00   |
| 1998 | Longford          | Austrália       | Usina de Gás                       | Explosão   | 2 mortes, 8 feridos interrupção do fornecimento de gás  | US\$ 750.000.000,00   |
| 2000 | Mina Al Ahmadi    | Kuwait          | Refinaria                          | Incêndio/Explosão  | 5 mortos e 50 feridos   | US\$ 810.000.000,00   |
| 2001 | Toulouse          | França          | Usina Química                      | Explosão   | 30 mortos; 2500 feridos   | US\$ 680.000.000,00   |
| 2001 | P-36              | Brasil          | Plataforma de petróleo             | Explosão e adernamento                                     | 11 mortos   | US\$ 790.000.000,00   |
| 2004 | Skikda            | Argélia         | Processamento de gás               |  | 27 mortos e 56 feridos  | US\$ 940.000.000,00   |
| 2005 | Texas City        | USA             | Refinaria                          | UVCE seguido de explosão                                   | 15 mortos e aproximadamente 180 feridos   | US\$ 200.000.000,00   |
| 2010 | Deepwater Horizon | Golfo do México | Plataforma de petróleo             | Vazamento (blow out) seguido de explosão                   | 11 mortos   | US\$ 600.000.000,00   |
| 2012 | PEMEX             | México          | Refinaria                          | Vazamento de Gás Natural                                   | 40 mortos   | *2                    |
| 2012 | Bangkok           | Tailândia       | Refinaria                          | Incêndio/Explosão  | -   | US\$ 140.000.000,00   |
| 2012 | Map ta Phut       | Tailândia       | Petroquímica                       | Incêndio/Explosão  | 12 mortos e 129 feridos   | US\$ 140.000.000,00   |
| 2012 | Falcon State      | Venezuela       | Refinaria                          | Explosão   | 48 mortos e aproximadamente 80 feridos  | US\$ 330.000.000,00   |
| 2013 | Geismar           | USA             | Petroquímica                       | Incêndio/Explosão  | 2 mortos e 76 feridos   | US\$ 510.000.000,00   |
| 2013 | Golfo do México   | USA             | Plataforma                         | Blowout  | -   | US\$ 140.000.000,00   |

Nota \*1: Valores inflacionados em dezembro de 2013.

Nota \*2: Valores não divulgados

## 1.1 Acidentes Ampliados

Considera-se acidente ampliado, também conhecido como acidente maior ou de segurança de processo, todo o evento inesperado, como uma emissão, incêndio ou explosão de grande magnitude, individualmente ou combinado, envolvendo uma ou mais substâncias perigosas com o potencial de causar, simultaneamente, múltiplos danos em um único evento, trazendo consequências imediatas, de médio e longo prazo. Eles podem ocorrer na indústria química, petroquímica ou em empresas que utilizam produtos perigosos. Segundo Freitas [7], os efeitos desses acidentes extrapolam os limites físicos das empresas, estendendo-se para além dos locais de sua ocorrência, colocando em risco a população e propriedades intramuros e extramuros e o meio ambiente.

O psicólogo britânico Reason [8], denomina estas ocorrências de acidentes organizacionais.

Não é somente a capacidade de provocar grande número de óbitos que caracteriza um acidente ampliado. Também é importante considerá-lo quando o potencial da gravidade e a extensão dos seus efeitos ultrapassam os limites espaciais de bairros, cidades, estados ou países, ou os limites temporais, estendendo-se para além do momento de sua ocorrência, como por exemplo, o efeito da carcinogênese, que pode ser desenvolvida ao longo do tempo [7].

De acordo com a norma britânica OGP 456 [9], a segurança de processo lida com a prevenção e controle de eventos que têm o potencial de liberar materiais e energias perigosos. Tais incidentes podem resultar em exposições tóxicas, incêndios ou explosões, e poderia finalmente resultar em incidentes graves, incluindo mortes, ferimentos, danos materiais, perda de produção ou danos ambientais.

É por esse motivo que alguns acidentes de segurança de processo ficaram marcados na história mundial, pois causaram milhares de mortes ou impactos de grandes dimensões ao meio ambiente. Os acidentes destacados na Tabela 1 se caracterizam por extrapolar as divisas da fábrica, se projetando a posteriori, com efeitos de médio e longo prazo nas populações e meio ambiente, sem falar dos impactos à imagem das empresas, perdurados ao longo das décadas.

De acordo com o *Center for Chemical Process Safety* – CCPS [10], perigos e riscos de processo podem ocasionar acidentes maiores, envolvendo a liberação de materiais potencialmente perigosos, incêndios ou explosões. Os acidentes de segurança de processo podem ter efeitos catastróficos e podem resultar em múltiplas mortes e feridos, assim como danos substanciais à economia, à propriedade e ao meio ambiente. Acidentes de segurança de processo podem causar dano tanto aos trabalhadores no interior de uma fábrica, como ao público que reside nas vizinhanças. Essa é a razão pela qual a segurança de processo está focada no projeto e engenharia das instalações, análise de perigos e riscos, investigação de incidentes, gestão de mudanças, inspeção, testes e manutenção de equipamentos, alarmes e controle eficazes de processos, procedimentos de manutenção e operação e fatores humanos.

## 1.2 Barreiras de Proteção

Segundo Marsh [4], a complexidade das operações realizadas na indústria de hidrocarbonetos, seja a exploração e produção de petróleo e de gás, o transporte e o armazenamento de hidrocarbonetos brutos, o refino e modernização de hidrocarbonetos para fabricar produtos comerciais, ou o processamento de hidrocarbonetos para a produção de polímeros e outros materiais, todos dependem de vários sistemas para ajudar evitar perdas. Estes sistemas ou barreiras são combinações de:

- Hardware: sistemas físicos que podem ajudar a controlar a exposição.
- Sistemas de gestão: gestão e procedimentos que podem ser tomadas para ajudar mitigar o risco.
- Comandos de emergência: sistemas que minimizam o incêndio, explosão, ou outras emergências consequentes do risco.

A seleção, especificação, operação e manutenção destes sistemas para prevenir e mitigar acidentes maiores são funções do sistema de gestão de segurança de processo, para qualquer ativo de indústria de hidrocarbonetos, que é separado e complementar ao sistema de gestão da saúde e segurança no trabalho. Acidentes que resultam em grandes perdas geralmente ocorrem devido às

falhas simultâneas desses sistemas ou barreiras do sistema de gerenciamento de segurança de processo. De acordo com norma americana API RP 754 [11], tipicamente, nenhuma destas perdas é originada da falha de uma única barreira ou medida de proteção. A manutenção adequada destas barreiras depende não só da rotina de inspeção e auditoria de seu funcionamento, como também do apoio da alta administração em segurança de processo e sua capacidade de solucionar quaisquer dúvidas que são trazidas à luz [4].

A maioria dos modelos de análise de acidentes existentes estudam as características dos acidentes, em função da relação causas e efeitos. Segundo Hollnagel [12], apesar de existir peculiaridades inerentes aos diversos modelos causais de acidentes existentes, é possível classificá-los em três grupos: sequencial, epidemiológico e sistêmico. No modelo sequencial, o acidente é percebido como uma sequência de eventos paralelos ou em série que ocorrem em virtude de algumas causas-raízes, pressupondo a existência de relações de causa e efeito bem definidas. Heinrich [13] propôs a teoria do dominó, explicando que o acidente ocorre devido às relações de causa e efeito entre o ambiente social, falha individual, atos e condições inseguras, acidente e o dano propriamente dito. Reason [8] desenvolveu o modelo “queijo suíço” enfatizando o conceito de defesa em profundidade e de como as defesas e barreiras podem falhar. Neste modelo considerado epidemiológico, embora os acidentes também sejam entendidos como resultante de uma sequência de eventos, é acrescentado o conceito de que esses eventos se propagam por meio de falhas latentes e ativas nas barreiras do sistema. Este modelo tem o seu foco de prevenção de acidentes voltado para a implantação e manutenção da integridade das barreiras de proteção, e propõe que os perigos existentes em uma unidade de processo devem estar contidos por estas múltiplas camadas. Estas barreiras ou defesas vão desde soluções de engenharia, tais como resposta a alarmes, sensores, intertravamentos, até soluções administrativas. Entretanto, essas barreiras apresentam fraquezas, representadas no modelo por buracos existentes nas várias camadas, conforme Figura 1. Quando as falhas se alinham pode haver a liberação não controlada do perigo que as barreiras deveriam conter, resultando em um acidente.

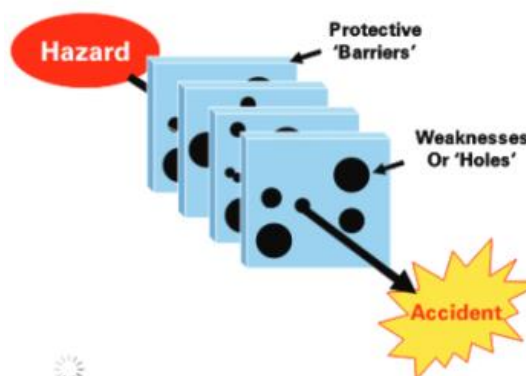


Figura 1 - Modelo do Queijo Suíço  
Fonte: CCPS, 2011

Segundo Reason [8], os buracos nas camadas de proteção surgem por duas razões básicas: falhas ativas e condições latentes. As falhas ativas estão ligadas as pessoas que fazem parte do sistema, podendo assumir diferentes formas: deslizes, lapsos, perdas, erros e violações de procedimentos. As falhas ativas geralmente têm um impacto de curta duração sobre as defesas. No entanto, muitas vezes o projeto do equipamento ou instalação induz o leitor a erros, tratam-se das condições latentes, que são representadas pelas patologias intrínsecas do sistema, e surgem a partir de decisões dos projetistas, construtores, elaboradores de procedimentos e do nível gerencial mais alto. Tais decisões podem ou não desencadear ou se constituir em erros ou falhas e possuem dois tipos de efeitos adversos: podem contribuir para o erro no local de trabalho (como, por exemplo, pressão de tempo, sobrecarga de trabalho, equipamentos inadequados, fadiga e inexperiência) e podem criar defeitos duradouros nas defesas (alarmes e indicadores não confiáveis, procedimentos não exequíveis, deficiências projetuais e construtivas, dentre outros). As condições latentes podem permanecer adormecidas no sistema por



muito tempo até que se combinem com as falhas ativas provocando acidentes. As falhas ativas podem não ser previstas facilmente, mas as condições latentes podem ser identificadas e corrigidas antes de um evento adverso. A compreensão deste fato leva ao gerenciamento proativo ao invés do reativo.

De acordo com Duarte [14], um acidente é, apenas, o ato final de uma história que teve início em local e data muito distantes.

Perrow [15] afirma que se a natureza dos riscos do negócio ou empreendimento for bem conhecida, é possível reduzir ou eliminar estes perigos, e conseqüentemente evitar a perda.

A adaptação do modelo de Rasmussen [16] deu origem ao modelo sistêmico de Hollnagel [17]. Este modelo não evidencia a identificação de causa-efeito e adota o pressuposto de que uma determinada sequência de eventos que gerou um acidente é improvável de acontecer do mesmo modo. Hollnagel [17] enfatiza a importância de se conhecer o desempenho do sistema e os fatores que geram tanto o sucesso como as falhas do sistema. A variabilidade de desempenho não é função apenas da variabilidade humana, é também influenciada pela complexidade, pelas demandas do sistema. Como é impossível reduzir essa complexidade, a alternativa para prevenção é tentar geri-la.

Hollnagel [17] propõe um método de análise de acidentes, denominado Método de Análise de Ressonância Funcional (FRAM –*Functional Resonance Analysis Method*), que utiliza uma analogia aos conceitos físicos de “estocástico” e “ressonância” para explicar os acidentes. A variabilidade de um sistema comporta-se conforme um modelo estocástico, ou seja, a probabilidade de que uma dada variação aconteça é aleatória e não previsível. Estas variações podem não provocar um acidente, entretanto em função das ressonâncias quando as variações agem simultaneamente e na mesma frequência, elas podem amplificar o risco dos acidentes. O modelo sistêmico assume que a variabilidade é normal e que sua eliminação é, em geral, impossível, sobretudo no contexto de sistemas dinâmicos e complexos. Assim, o modelo sistêmico propõe que a ênfase das ações preventivas deve ser na monitoração da variabilidade nas funções do sistema e no desenvolvimento da capacidade de adaptação às pressões organizacionais.

O modelo STAMP (Systems-Theoretic Accident Model and Processes) baseia-se na teoria de sistemas e os três pilares do método são: restrições de segurança, estrutura hierárquica de controle e modelo de processo, segundo Leveson [18, 19]. De acordo com o método, as restrições de segurança devem ser reforçadas através de controles, os quais utilizam mecanismos de realimentação e buscam garantir a segurança do sistema observando as mudanças e readaptando o controle quando necessário. O controle hierárquico significa que é possível estabelecer níveis de controle, nos quais os níveis mais baixos estão mais próximos da estrutura física onde ocorre o acidente. Cada nível acima possui mecanismos para reforçar as restrições de segurança dos níveis abaixo e ter retroalimentação para avaliar se as restrições impostas estão sendo bem sucedidas ou falhando. Para que as ações de controle sejam possíveis, o controlador de cada nível estabelece um modelo de processo, o qual permite a identificação de como o processo deve se comportar ao ser aplicada a restrição de controle. Como o principal objetivo de uma análise de acidentes é a prevenção de recorrências futuras, o enfoque da análise é identificar as fragilidades do sistema de controle e promover melhorias para garantir que o sistema de controle continue funcionando mesmo com variações semelhantes no futuro. As mudanças visam garantir que a estrutura de restrição e retroalimentação permitam que a estrutura seja capaz de se adaptar ao longo do tempo, conforme as variáveis de resposta obtidas pela retroalimentação.

### 1.3 Cenário Acidental e Componentes

De acordo com CCPS [20], um cenário acidental é um evento ou sequência de eventos não planejados que resulta em uma consequência indesejável. Cada cenário consiste em pelo menos dois elementos:

- um evento iniciador que desencadeia uma sequência de eventos;
- uma consequência que resulta em uma sequência de eventos contínuos sem interrupção.

Os eventos iniciadores são agrupados em três tipos gerais, conforme Figura 2:

- eventos externos;
- equipamentos;
- fracassos e falhas humanas

## 1.4 Fatores Humanos e Organizacionais e Acidentes

Joschek [21] apresenta um estudo que 80% a 90% dos acidentes que ocorreram na indústria petroquímica foram oriundos de falhas humanas. As investigações dos acidentes ampliados citados no item 3.3 identificaram causas diretamente associadas a falhas humanas.

As falhas humanas são oriundas das interações do homem com máquinas ou sistemas. E são analisadas em profundidade pela disciplina de fatores humanos. De acordo com *International Ergonomics Association* [22], fatores humanos é uma disciplina científica interessada no entendimento das interações entre o homem e outros elementos do sistema com o objetivo de otimizar o bem estar humano e a performance geral do sistema.

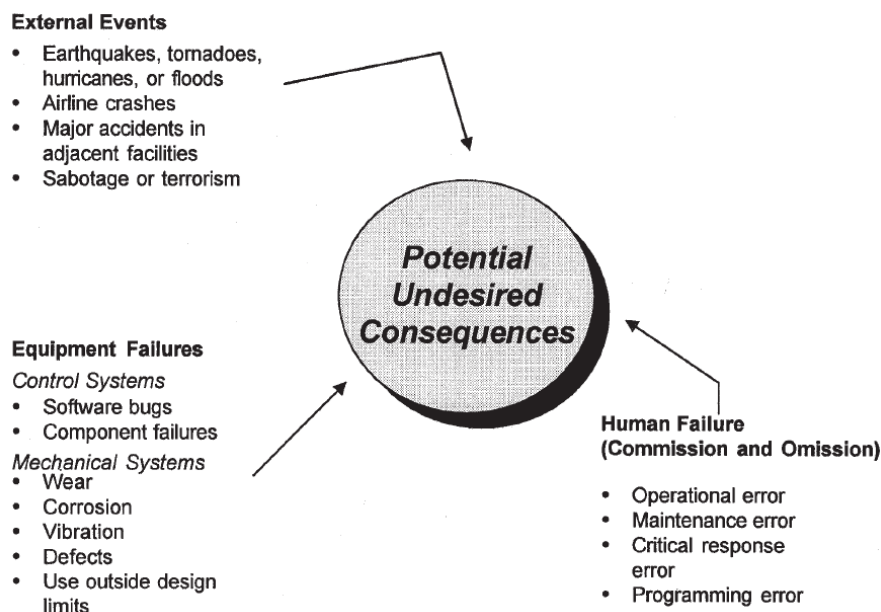


Figura 2 - Tipos de Eventos Iniciadores  
Fonte: CCPS [14]

Para Lorenzo [23], a engenharia de fatores humanos estuda o design do equipamento, operações, procedimentos e ambiente de trabalho que são compatíveis com as capacidades, limitações e necessidades dos trabalhadores.

Ponte [24], ao analisar a influência do erro humano sobre os grandes acidentes observa a importância da abordagem acerca de fatores humanos nos projetos de engenharia. Em sua análise verifica que as condições naturais apresentadas na Figura 2 como eventos iniciadores são na maioria das vezes imprevisíveis e que a engenharia, historicamente, vem enfrentando tais desafios impostos pela natureza, por meio do desenvolvimento tecnológico. Ponte [24] afirma que o projeto de engenharia considerado mais seguro, mesmo assim estará exposto à interação homem x sistema e, conseqüentemente, à influência das limitações humanas, que também são inevitáveis. Ou seja, o erro humano estará presente em algum momento, em alguma circunstância. E para enfrentar estas limitações a engenharia precisa atuar em fatores humanos, para que assim, consiga a redução das consequências do erro humano, pois ele é inevitável, assim como as condições naturais. Assim, se o projeto de sistemas de segurança contemplarem mecanismos de proteção contra o erro humano a partir de uma análise dos fatores humanos, a chance de ocorrência de falhas será reduzida.

Kletz [6] cita que mesmo as pessoas bem treinadas, que sabem o que devem e querem fazer, estão mentalmente e fisicamente capacitadas para tal, podem esquecer. Além disso, menciona que os erros também ocorrem porque as pessoas, deliberadamente, não seguem as instruções por julgá-las desnecessárias.

De acordo com Danillou et al [1], dentre os principais tipos de erro, há os que sobrevêm da execução de automatismos. Estes são os descuidos (por exemplo, acreditamos que apertamos o botão,

mas isso não aconteceu, ou tocamos o interruptor inadvertidamente), os lapsos (digitamos 17236 em vez de 17326) ou confusões de percepção (percebeu-se F6 ou S6). Estes tipos de erros são muito frequentes, e representam 70 a 80% do total. Outros principais tipos de erros acontecem na execução de regras e correspondem 15 a 20% do total. Outros erros surgem na implementação de conhecimentos. Este tipo de erro é raro e se apresentam em situações não habituais para as quais não existe nenhuma regra clara e se manifestam no tratamento em tempo real de uma situação imprevista.

A grande frequência do erro humano em acidentes maiores na indústria química e de petróleo reforça a necessidade de um tratamento aprofundado nos processos dessas indústrias sobre fatores humanos.

## 2. RESULTADOS OBTIDOS

Conforme apresentado no item 3, as falhas humanas estão presentes na maior parte dos grandes acidentes e a possibilidade destas ocorrerem deve ser considerada na elaboração de projetos de sistemas de segurança, durante o planejamento de um novo empreendimento e durante as operações em andamento das organizações. A engenharia de fatores humanos busca através de experimentos em laboratórios, técnicas de simulação, obter dados sobre as características humanas com o objetivo de inserir esses dados no projeto de ferramentas, máquinas, sistemas, interfaces e equipamentos, para uso efetivo pelo ser humano em condições confortáveis e seguras [25]. As principais contribuições da engenharia de fatores humanos são: assegurar os meios necessários para que os trabalhadores realizem suas tarefas com segurança; assegurar que os procedimentos e o treinamento estejam compatíveis com os requisitos de desempenho desejados; assegurar que os projetos dos sistemas técnicos sejam consistentes com as características cognitivas dos operadores e possibilite um desempenho humano compatível com a missão desejada, minimizem falhas humanas, possibilitando a realização das tarefas de maneira efetiva pelos trabalhadores, em condições normais, anormais e de emergência.

O objetivo do processo de verificação e validação da alocação dos requisitos de fatores humanos no projeto de sistemas técnicos industriais é garantir que:

- sejam incluídos todos os controles necessários para os operadores desempenharem com eficiência e segurança suas tarefas em todos os modos de operação, ou seja, condições normais, anormais, parada e partida do reator;
- sejam considerados os requisitos antropométricos dos trabalhadores; os requisitos ergonômicos para o mobiliário; os requisitos do leiaute do ambiente de trabalho e do leiaute dos consoles de controle, contidos em normas e guias de fatores humanos e ergonomia.

Assim, uma metodologia de alocação dos fatores humanos e organizacionais se faz necessária, para que possa ser implementada por meio de uma sistemática ao longo de todo ciclo de vida de um projeto, instalação ou processo produtivo. A metodologia proposta é apresentada na Figura 3.

A ergonomia utiliza a análise da atividade dos trabalhadores em situações de referência com o objetivo de fornecer elementos da situação real de trabalho. Estes elementos estão relacionados com as ações realizadas na execução das tarefas susceptíveis de serem reencontradas na situação futura de trabalho. O objetivo é analisar as ações nas situações existentes e construir situações experimentais, que se aproximem da situação futura de trabalho. A situação de referência pode ser a situação atual de uma indústria que vai ser modernizada ou de um setor que vai sofrer mudanças ou transformações no seu processo de produção e que apresenta princípios de operação, que estarão presentes na futura instalação. As situações de ações características constituem um conjunto de determinantes da situação de trabalho, que fazem parte da estrutura da atividade dos trabalhadores.

A análise dos requisitos funcionais identifica as funções que devem ser realizadas para satisfazer os objetivos de segurança, decompõe cada função de segurança, compara as funções de segurança e os processos com as funções e processos do sistema utilizado como referência. A abordagem a ser utilizada é baseada em decisões que envolvem a decomposição das funções a partir de níveis mais elevados, globais, continuando através do nível de processo, até atingir níveis menores relacionados com componentes, equipamentos, trabalhadores.



A alocação das funções determina os critérios adotados para atingir o nível de automação desejado para as funções, processos e sistemas envolvidos na segurança. Inicialmente são identificadas todas as funções que devem ser automatizadas e as que devem ser alocadas para os trabalhadores. Posteriormente, devem ser identificadas as funções restantes, ou seja, aquelas que poderiam ser realizadas pela combinação de sistemas e trabalhadores. São preparadas descrições de como essas funções poderiam ser implementadas, estabelecidos critérios e alternativas. Os objetivos básicos da alocação das funções são o de deixar o trabalhador livre das tarefas que não são apropriadas para o ser humano, determinar as tarefas que beneficiem o ser humano, explorar os aspectos cognitivos dos trabalhadores e reduzir a sobrecarga cognitiva.

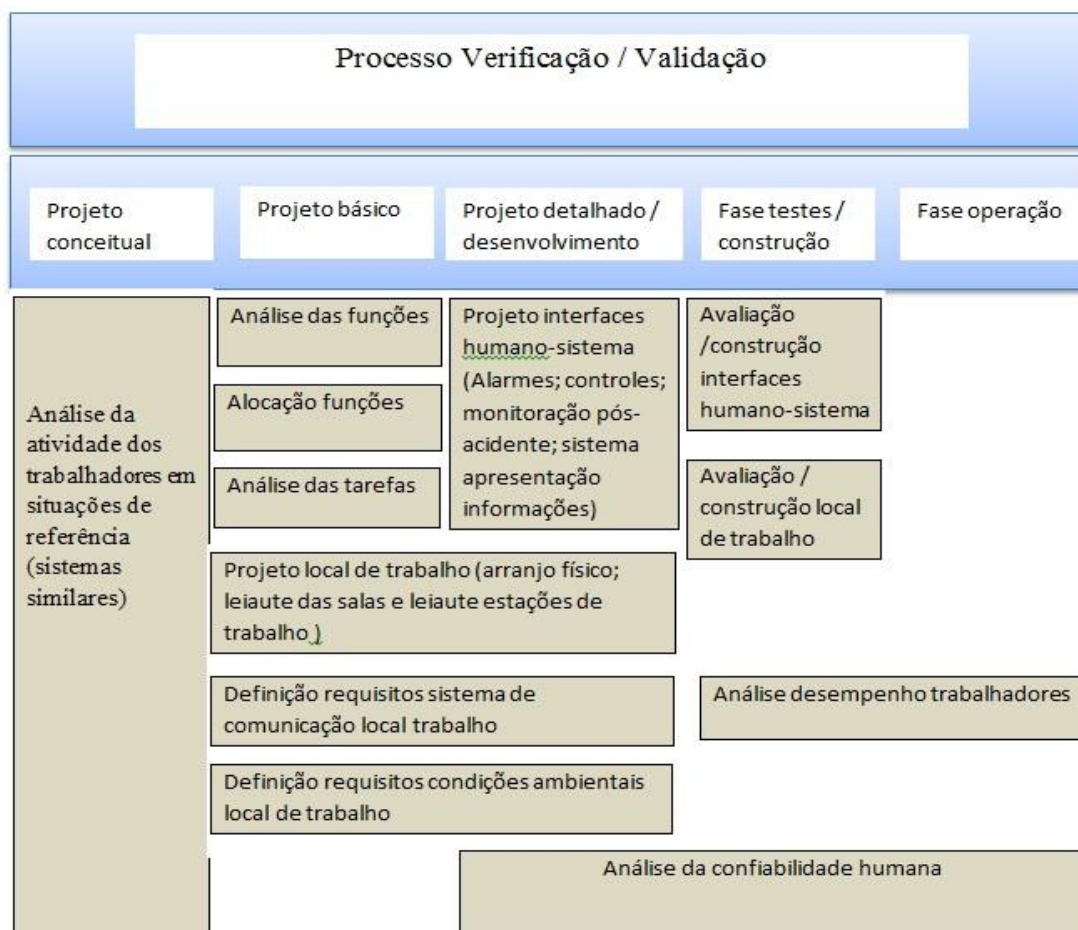


Figura 3 - Metodologia Proposta

O objetivo da análise das tarefas é identificar as ações humanas necessárias para realizar determinadas funções e os requisitos de apoio para realização das tarefas de controle e monitoração. Os guias de fatores humanos e ergonomia são utilizados na definição dos requisitos de fatores humanos a serem aplicados no projeto do local de trabalho. Os guias de fatores humanos e ergonomia são utilizados no processo de verificação da alocação dos requisitos de fatores humanos no projeto do local de trabalho.

A análise da confiabilidade humana tem como objetivos: identificar as potenciais falhas humanas que possam afetar a operação e a segurança da instalação, calcular a probabilidade de ocorrência de eventos de falha humana e identificar os fatores que afetam o desempenho humano. Qualquer definição de erro humano deve considerar as ações e limites específicos envolvidos numa tarefa em particular, em um determinado contexto, e ser considerado como um resultado natural e inevitável da variabilidade humana em interações com um sistema, refletindo as influências de todos os fatores pertinentes no momento em que as ações são executadas. O conceito de erro humano não deve ter conotação de culpa e punição, devendo ser tratado como uma consequência natural, que

emerge devido a não continuidade entre a capacidade humana e a demanda do sistema. O desempenho humano pode ser caracterizado pelo entendimento de como as pessoas tendem a trabalhar sobre várias circunstâncias. O nível de controle exercido por uma pessoa em relação a sua atividade de trabalho pode ser caracterizado pelos seguintes modos: habilidades, regras e conhecimento. No comportamento baseado nas habilidades as reações são automáticas, o contexto é familiar, com baixo nível de consciência e pouco esforço cognitivo. No comportamento baseado em regras, o ser humano segue padrões conhecidos e procedimentos definidos em treinamento. Já no comportamento baseado em conhecimento, as regras não são conhecidas, o contexto não é familiar, sendo que as tarefas serão realizadas pela primeira vez, sem treinamento anterior e com alto esforço cognitivo.

A implantação de um plano para monitoramento e avaliação do desempenho dos trabalhadores durante a fase de operação tem como objetivo garantir que não ocorra uma degradação relevante na segurança da planta e no desempenho dos trabalhadores, oriunda de mudanças não autorizadas nas condições operacionais, inclusão de novos sistemas não previstos e de tarefas adicionais. A estratégia também visa assegurar que as informações e dados obtidos durante o processo de avaliação integrada sejam também considerados durante um futuro processo de modernização.

No processo de verificação e validação os seguintes itens devem ser incluídos:

- identificação e seleção de determinadas condições operacionais, que incluam eventos representativos, com risco significativo para a segurança da planta e prováveis de serem encontrados durante a operação da planta;
- na seleção das condições operacionais, seja considerada a inclusão de fatores que podem afetar o desempenho humano, tais como alta carga de trabalho, estresse, tarefas duplas, fatores ambientais, fadiga e fatores circadianos;
- identificação das tarefas críticas realizadas pelos operadores, definidas na revisão da experiência operacional;
- identificação das ações humanas com risco significativo, que envolvem atividades cognitivas importantes;
- seleção de cenários representativos, definidos por um grupo multidisciplinar constituído de especialistas em fatores humanos, engenheiros projetistas, responsáveis pelo desenvolvimento de procedimentos e pelo treinamento, engenheiros especialistas em análise probabilística de segurança;
- verificação da existência dos alarmes, controles e parâmetros necessários para o bom desempenho das tarefas realizadas pelos trabalhadores e necessários para o controle e monitoração das variáveis em todos os modos de operação.

No processo de verificação, os requisitos de fatores humanos alocados no projeto de sistemas técnicos industriais são comparados com os requisitos definidos nos guias e normas de fatores humanos. A validação do desempenho dos trabalhadores, ao realizar tarefas dinâmicas, é feita usando ferramentas apropriadas, tais como simuladores ou *mockups*. Fatores relacionados com as condições ambientais e o impacto desses fatores no desempenho das tarefas devem ser considerados.

### 3. CONCLUSÕES

A prevenção de acidentes ampliados é a garantia da continuidade operacional e sobrevivência das empresas que possuem, atrelado às características de suas operações, o potencial de causar grandes danos.

Assim, trabalhar a segurança dos processos operacionais é primordial para a estratégia de negócio das organizações. Ao contextualizar a segurança de processo, fatores humanos e organizacionais com estes grandes acidentes, este trabalho identifica o potencial desenvolvimento e aperfeiçoamento dessa questão, de forma que traduzam ações proativas na prevenção dos eventos acidentais ou mitigação de seus efeitos, tais como, elaboração de projetos, instalações e processos que reduzam a chance do erro humano ou que mitiguem as consequências das falhas, bem como para os empreendimentos já em funcionamento.

Assim, é importante para a continuidade operacional dos segmentos de negócio abordados neste estudado a adoção de estratégias que incrementem e organizem ações de promoção da segurança

de processo e da inserção da disciplina de fatores humanos e organizacionais na gestão das atividades nestas empresas.

#### 4. REFERÊNCIAS

- [1] DANILLOU, F.; SIMARD, M.; BOISSIÈRES, I. Fatores Humanos e Organizacionais da Segurança Industrial: um estado da arte. ICSI, Toulouse, França, 2013.
- [2] BBC Economia. BP anuncia prejuízo de R\$ 8 bilhões após vazamento nos EUA. São Paulo, 2011. Disponível em: < [http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2011/02/110201\\_bp\\_prejuizo\\_rp.shtml](http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2011/02/110201_bp_prejuizo_rp.shtml)> Acesso em: 05 de janeiro de 2015.
- [3] FUNDACENTRO. Prevenção de Acidentes Industriais Maiores. São Paulo, 2002.
- [4] MARSH. *The 100 Largest Losses 1974-2013. 23<sup>rd</sup> edition*. Dez. 2013. USA
- [5] FRANÇA, J. E. M. Alocação de Fatores Humanos no Gerenciamento de Riscos de Sistemas Complexos Offshore. 2014. (Mestrado), Escola Politécnica e Escola de Química, PEA, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.dissertacoes.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli1261.pdf>>
- [6] KLETZ, A. T. O que Houve de Errado? Casos de Desastres em Indústrias Químicas, Petroquímicas e Refinarias. São Paulo: Pearson, 2005.
- [7] FREITAS, C. M. de et al. Acidentes Químicos Ampliados: um desafio para a saúde pública. Revista Saúde Pública, FIOCRUZ, Rio de Janeiro, 1995.
- [8] REASON, J. *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Ashgate. Vermont, 1997.
- [9] *Internacional Association of Oil & Gas Producers. OGP Report N° 456: Process Safety – Recommended Practice on Key Performance Indicators. United Kingdom, 2011*
- [10] *Center of Chemical Process Safety. Diretrizes para Segurança de Processo Baseada em Risco. CCPS, AIChE. Tradução Petrobras, Rio de Janeiro, 2014.*
- [11] *American Petroleum Institute. API RP 754: Process Safety Performance Indicators for the Refining and Petrochemical Industries. API, Houston, 2010.*
- [12] HOLLNAGEL, E. *Barrier analysis and accident prevention*. Aldershot, UK: Ashgate, 2004.
- [13] HEINRICH, H. W. *Industrial accident prevention: a scientific approach*. New York: McGraw Hill, 1959.
- [14] DUARTE, M. Riscos Industriais: Etapas para a Investigação e Preparação de Acidentes. FUNENSEG, Rio de Janeiro, 2002.
- [15] PERROW, C. *Normal Accidents: Living with Hight-Risk Technologies*. Basic Books. New York, 1984.
- [16] RASMUSSEN, J. *Skills, Rules and Knowledge: Signals, Signs and Symbols and others Distinctions in Human Performance Models*. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1987.
- [17] HOLLNAGEL, E. *Cognitive Reliability and Error Analysis Method- CREAM*. Oxford, 1998.
- [18] LEVESON, N. A new accident model for engineering safer systems. *Safety Science*, v. 42, n. 4, 2004.
- [19] Leveson, N. *Engineering a Safer World*. 1. ed. nCambridge: Library of Congress, 2011. p. 555.
- [20] *Center of Chemical Safety Process. Layer of Protection Analysis: Simplified Process Risk Assessment*. CCPS, AIChE, New York, 2001.
- [21] JOSCHEK, H.I. *Risk Assessment in the Chemical Industry. Proceeding of the international topical meeting on probabilistic risk assessment*. New York, American Nuclear Society, 1981.
- [22] *International Ergonomics Association. What is Ergonomics*. IEA. Disponível em: <http://www.iea.cc/whats/>> Acesso em 03 de junho de 2015.
- [23] LORENZO, P. E. D. K. *A Manager's Guide to Reducing Human Errors: Improving Human Performance in the Chemical Industry*. EQE International. Washington, 1990.
- [24] PONTE Jr, G. P. Gerenciamento de riscos, cultura de segurança e fatores humanos para a simulação computacional de escape e abandono em instalações offshore. 2012. (Doutorado), Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de

Janeiro, 2012. Disponível em: <[http:// www.oceanica.ufrj.br/intranet/teses/2012\\_Doutorando\\_Gerardo\\_Portela\\_da\\_Ponte\\_Junior.pdf](http://www.oceanica.ufrj.br/intranet/teses/2012_Doutorando_Gerardo_Portela_da_Ponte_Junior.pdf)>

[25] LUQUETTI, I. J. A, CARVALHO, P. V. R e GRECCO, C. H. (2005). *Human Reliability Analysis of Control Room Operators. In: Proceedings of the Rio Pipeline International Conference, Rio Janeiro, Brazil.*