UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA

Ana Paula Alves Viana Melo

NÍVEL DE INTEGRIDADE DE SEGURANÇA (SIL) INTEGRADO COM FATORES HUMANOS E ORGANIZACIONAIS

RIO DE JANEIRO
2012

Ana Paula Alves Viana Melo

NÍVEL DE INTEGRIDADE DE SEGURANÇA (SIL) INTEGRADO COM FATORES HUMANOS E ORGANIZACIONAIS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos.

Orientador: Prof. Márcio Nele de Souza, D.Sc.

Co-Orientador: Prof. Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo, D.Sc.

Rio de Janeiro

Março/2012

Ana Paula Alves Viana Melo

NÍVEL DE INTEGRIDADE DE SEGURANÇA (SIL) INTEGRADO COM FATORES HUMANOS E ORGANIZACIONAIS

Dissertação de Mestrado submetida ao Corpo Docente da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos.

Aprovada por:

Márcio Nele de Souza – Orientador (D.Sc.)

Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo – Co-orientador (D.Sc.) – COPPE/UFRJ

Adelaide Maria de Souza Antunes (D.Sc.) – EQ/UFRJ

Carlos André Vaz Junior (D.Sc.) - EQ/UFRJ

José de Jesus Rivero Oliva (D.Sc.) – Departamento de Engenharia Nuclear/UFRJ

Cesar Ferreira do Nascimento (D.Sc.) – White Martins

Rio de Janeiro

MELO, Ana Paula Alves Viana.

Nível de Integridade de Segurança (SIL) Integrado com Fatores Humanos e Organizacionais/ Ana Paula Alves Viana Melo. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola de Química, 2012.

vi, _p.; il.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia dos Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2012.

Orientador: Márcio Nele de Souza
Co-Orientador: Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo

1. Nível de Integridade de Segurança (SIL). 2. Fatores Humanos e Organizacionais. 3. Engenharia Química - Dissertação. I. Nele, Márcio. II.Frutuoso, Paulo. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola de Química.

AGRADECIMENTOS

Ao meu marido, pela paciência, incentivo, companheirismo, carinho e amor dedicados neste período de estudo, que foram essenciais para a conclusão deste trabalho.

À minha família, em especial meus pais Ana Lúcia e Luiz Carlos, minha madrasta Marluzi (Mel), avós Teodolinda, Manuel e Narciso Raul, e minha irmã Ana Luíza pela minha ausência, pela compreensão, apoio e carinho de sempre.

Aos professores Márcio Nele de Souza e Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo, pela disponibilidade, dedicação e orientação cuidadosa e pela compreensão com minha indisponibilidade de tempo.

Ao amigo Cesar Nascimento, por permitir e incentivar o meu desenvolvimento profissional e a realização deste trabalho. A ele e também à amiga Juliana Schmitz por estarem sempre dispostos a me ajudar e por partilharem seus conhecimentos comigo.

Aos amigos da empresa que trabalho, em especial ao Osen Clever, por autorizar e facilitar a parte experimental deste trabalho, ao Diogo Bellotti, por me apresentar aos operadores e auxiliar na visita à unidade de GNL. A todos os operadores que participaram das entrevistas, fornecendo os dados utilizados neste trabalho.

A todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram no desenvolvimento deste estudo.

MELO, Ana Paula Alves Viana. **Nível de Integridade de Segurança (SIL) Integrado com Fatores Humanos e Organizacionais**. Orientador: Prof. Márcio Nele de Souza. Co-orientador: Prof. Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo. Rio de Janeiro, 2012. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

Em muitas análises de acidentes/incidentes os fatores humanos e organizacionais vêm sendo apontados como causas raízes ou fatores contribuintes. Logo, no sentido de agir preventivamente, muitas metodologias têm sido propostas em artigos científicos para a quantificação destes fatores nas organizações.

Em função do grande avanço da eletrônica digital da última década, as indústrias possuem cada vez mais sistemas instrumentados de segurança (SIS), que são a instrumentação e controles instalados com o objetivo de trazer o processo, ou equipamento específico no processo, para um estado seguro. Porém, quando a unidade é posta em operação, esses SIS podem ser afetados negativamente pelos fatores humanos e organizacionais presentes e podem também não atingir, na fase de operação, o nível de integridade de segurança (SIL) calculado na fase de projeto.

A metodologia de verificação dos fatores humanos e organizacionais na fase operacional dos SIS é analisada neste trabalho, através de um estudo de caso realizado numa unidade em funcionamento de gás natural liquefeito (GNL). Com o estudo de caso pôde-se verificar qual(is) fator(es) humano(s) e organizacional(is) mais impactam o SIS da unidade e, desta forma, agir preventivamente para eliminar estes problemas identificados. Foi possível também calcular o SIL operacional e compará-lo o com o SIL de projeto.

Palavras-Chave: Fatores Humanos e Organizacionais. Sistema Instrumentado de Segurança. Nível de Integridade de Segurança.

MELO, Ana Paula Alves Viana. **Safety Integrity Level (SIL) integrated with Human and Organizational Factors**. Orientador: Prof. Márcio Nele de Souza. Co-orientador: Prof. Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo. Rio de Janeiro, 2012. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

From many accidents / incidents analysis, the human and organizational factors have been identified as root causes or contributing factors. Therefore, in order to actuate preventively, many methodologies have been proposed for the quantification of these factors in organizations.

Due to the advances of digital electronics over the last decade, industries have increased the number of installed safety instrumented systems (SIS), which are instrumentation and controls installed in order to bring the process, or equipment to a safe state. However, after plant started up, these SIS may be adversely affected by human and organizational factors and may not reach, at the operation phase, the safety integrity level (SIL) calculated at the design phase.

The methodology about the control of human and organizational factors in the operational phase of the SIS is applied in this work through a case study in a liquefied natural gas (LNG) operational plant. Through the case study the human and organizational factor (s) that most impacted the SIS in the unit could be verified and thus, these problems could be preventively eliminated. It was also possible to calculate the operational SIL and compare it with the project SIL.

Keywords: Human and Organizational Factors. Safety Instrumented System. Safety Integrity Level.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de Controle de Processo Básico (*Basic Process Control System*) X Sistemas Instrumentados de Segurança 17
Figura 2 - FIS versus SIS 18
Figura 3 - Ciclo de Vida de Segurança, IEC 61508 29
Figura 4 – Atividades em detalhes para a fase de análise do ciclo de Vida de Segurança 30
Figura 5 – Atividades em detalhes para a fase de realização do ciclo de Vida de Segurança 32
Figura 6 – Atividades em detalhes para a fase de operação do ciclo de Vida de Segurança 33
Figura 7 – Modelo do Queijo Suiço, proposto por Reason (2000) 44
Figura 8 - Modelo do Queijo Suíço de Causas dos Erros Humanos. 46
Figura 9 – Visão Geral do TRIPOD. 48
Figura 10 – Passos da metodologia proposta por SCHÖNBECK (2007)..... 59
Figura 11 - Etapas de uma planta do tipo nivelamento de demanda (*peak-shaving.)* 65
Figura 12- Etapas de uma planta do tipo grande capacidade (*base-load).* 67
Figura 13 – Unidade de Liquefação do Gás Natural..... 68
Figura 14 – Diagrama de blocos de um sistema de regaseificação simplificado..... 69
Figura 15 – Foto da destruição da cidade após explosão 71
Figura 16 - Foto do acidente de Fevereiro de 1973, Ilha de Staten, EUA. 73
Figura 17 - Foto do acidente de 19 de Janeiro de 2004, Skikda, Argélia. 75
Figura 18 - Taxa de peso dos fatores de influência de segurança ($\mathbf{WiRi}$)..... 86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Níveis de Integridade de Segurança e PFD e RRF correspondentes 20
Tabela 2 - Definição de Nível de Confiança das Barreiras de Segurança do Projeto ARAMIS 52
Tabela 3 - Fatores de Influência de Segurança na fase operacional dos sistemas instrumentados de segurança 57
Tabela 4 - Composição do gás natural bruto em diferentes países 64
Tabela 5 - Fatores de Influência de Segurança na fase operacional dos sistemas instrumentados de segurança 78
Tabela 6 – Resultados obtidos com as auditorias de segurança para $\mathbf{Ri}$ 84
Tabela 7 - Taxa de peso dos fatores de influência de segurança ($\boldsymbol{WiRi}$) 85

LISTA DE SIGLAS

ABIQUIM Associação Brasileira da Indústria Química

ANSI *Application of Safety Instrumented Systems for the Process Industries*

APP Análise Preliminar de Perigos

ARAMIS *Accidental Risk Assessment Methodology for Industries in the framework of Seveso II Directive*

BORA *Barrier and Operational Risk Analysis*

BPCS *Basic Process Control System*

CONTEC Comissão de Normas Técnicas

ICCA *Internacional Council of Chemical Associations*

FIS Função Instrumentada de Segurança

FOD *Field Operation Division*

GNL Gás Natural Liquefeito

HORRAM *Human and Organizational Reliability Analysis in Accident Management*

HSE *Health and Safety Executive*

HSL *Health and Safety Laboratory*

IEC *International Eletrotechnical Commission*

IPSN Instituto de Proteção e Segurança Nuclear

ISA *Instrumentation, Systems and Automation Society*

MACHINE *Model of Accident Causation using Hierarchical Influence Network*

PFD Probabilidade de Falha na Demanda

PRIMA *Process Risk Management Audit*

PSSR	*Pré-Startup Safety Review*
RRF	*Risk Reduction Factor*
SAM	*System Action- Management*
SAQ	*Safety Attitude survey Questionnarie*
SIS	Sistema Instrumentado de Segurança
SRS	*Safety Requirements Specification*
SRU	*Safety Research Unit*
STATAS	*Structured Audit Techinique for the Assessment of Safety Management* systems
TGF	Tipos Gerais de Falhas
WWW	*World Wide Web*

SUMÁRIO

Capítulo 1 – Introdução 13
1.1 Introdução 13
1.2 Objetivos 14
1.3 Estrutura do Trabalho 14
Capítulo 2 – Nível de Integridade de Segurança (SIL – *Safety Integrity Level*) e Ciclo de Vida de Segurança 15
2.1 Introdução a Sistemas Instrumentados de Segurança 15
2.1.1 SIS versus Sistemas de Controle de Processo Básicos (*Basic Process Control System* – BPCS) 16
2.2 Funções Instrumentadas de Segurança (FIS) 17
2.3 Probabilidade de Falha na Demanda (PFD) 18
2.4 Níveis de Integridade de Segurança (*Safety Integrity Level* – SIL): 19
2.5 Normas relacionadas com Nível de Integridade de Segurança 21
2.5.1 Norma IEC 61508 23
2.5.2 Norma IEC 61511 25
2.5.3 Normas ISA 26
2.5.4 Norma Petrobras N-2595 27
2.5.5 Normas DIN 28
2.6 Ciclo de Vida de Segurança 28
2.6.1 Fase de Análise do Ciclo de Vida de Segurança 30
2.6.2 Fase de Realização do Ciclo de Vida de Segurança 31
2.6.3 Fase de Operação do Ciclo de Vida de Segurança 33
Capítulo 3 – Impacto dos Fatores Humanos e Organizacionais na Segurança de uma Unidade 35
3.1 Acidentes relacionados com Fatores Humanos e Organizacionais 35
3.1.1 Acidente da *Piper Alpha* 36
3.2 Fatores Humanos e Organizacionais 38
3.3 Literatura sobre Fatores Humanos e Organizacionais 40
3.4 Verificação dos Fatores Humanos e Organizacionais dos Sistemas Instrumentados de Segurança 55
Capítulo 4 – Gás Natural Liquefeito (GNL) 63

4.1 Introdução 63
4.1.1 Caracterização do Produto Químico: Gás Natural Liquefeito 64
4.1.2 Descrição de Processo de uma Unidade de Liquefação do Gás Natural 65
4.1.3 Fontes de Perigo numa Unidade de GNL 69
4.1.4 Histórico de Acidentes em Plantas de GNL 70
4.1.5 Unidade Operacional de GNL de análise 75
Capítulo 5 – Estudo de Caso – Aplicação a uma Planta de GNL 77
5.1 Introdução 77
5.2 Passo 1: Estimar θ 77
5.3 Passo 2: Estabelecer pesos relativos Wi e cálculo de Wi 77
5.4 Passo 3: Taxar os Fatores de Influência de Segurança (Ri) 78
5.4.1 Desenvolvimento das Listas de Verificação 79
5.4.2 Cálculo da Taxa dos Fatores de Influência de Segurança (Ri) 82
5.5 Passo 4: Cálculo do SIL Operacional 84
5.6 Passo 5: Ações Corretivas e Preventivas 85
Capítulo 6 – Conclusão 87
6.1 Análise dos Resultados 87
6.2 Trabalhos Futuros 88
Referências Bibliográficas 90
Anexo I 96

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Introdução

O estudo de acidentes na indústria em geral tem indicado que fatores humanos e organizacionais desempenham um papel muito importante, pois muitas vezes aparecem como causas raízes ou fatores contribuintes destes eventos. Muitos estudos vêm sendo propostos para tentar quantificar estes fatores humanos e organizacionais, que interferem na segurança de uma unidade em operação, para tentar eliminá-los de forma preventiva.

Os sistemas instrumentados de segurança (SIS) são basicamente sistemas de atuação de segurança de uma unidade industrial, compostos por sensores, lógicas e elementos finais. Com o avanço da tecnologia, os sistemas instrumentados de segurança estão cada vez mais automatizados e complexos. Devido ao aumento desta complexidade, surgiram alguns questionamentos quanto ao nível efetivo de proteção fornecidos pelos SIS. Dado esse cenário, várias normas sobre o desenvolvimento, projeto e manutenção dos SIS foram emitidas.

A norma IEC 61508 (1998) foi desenvolvida com o objetivo de servir como um guia para ajudar diversas indústrias a desenvolver normas suplementares específicas para suas aplicações (como por exemplo: a IEC 61511 (1998) para o setor de processo) e também para habilitar o desenvolvimento elétrico/eletrônico/eletrônico programável (E/E/PE) dos sistemas relacionados com a segurança. A norma IEC 61508 (1998) define que a redução de risco que um SIS pode fornecer é representada pelo seu nível de integridade de segurança (*safety integrity level* – SIL*).*

Então, na fase de projeto, para uma unidade industrial, o SIL de projeto é calculado. Porém, um bom gerenciamento de segurança não pode melhorar o nível de integridade de um sistema tecnicamente, mas uma má gestão pode deteriorar a confiabilidade do sistema.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é verificar as evidências e mensuração dos fatores humanos e organizacionais de uma unidade em operação de GNL (gás natural liquefeito) que podem impactar o SIL de projeto desta unidade e também calcular um SIL operacional.

1.3 Estrutura do Trabalho

No Capítulo II são apresentados os conceitos de nível de integridade de segurança, bem como sistemas instrumentados de segurança. Inclui também a descrição das normas relacionadas com o assunto.

O Capítulo III inicia-se com a descrição de um dos principais acidentes da história, que teve como causa raiz, ou fatores contribuintes, os fatores humanos. Contém uma revisão bibliográfica a respeito dos fatores humanos e organizacionais que interferem na segurança de uma unidade em operação. Em destaque, apresenta também o artigo base desta dissertação de mestrado.

No Capítulo IV, estão apresentadas as principais características e perigos do gás natural liquefeito (GNL), além da descrição de uma unidade de GNL e do histórico de acidentes em unidades de GNL.

O Capítulo V demonstra toda a metodologia utilizada no estudo de caso realizado numa planta em operação de GNL.

As conclusões e comentários finais sobre o trabalho desenvolvido compõem o Capítulo VI. Neste capítulo são também descritas sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2 – Nível de Integridade de Segurança (SIL – *Safety Integrity Level*) e Ciclo de Vida de Segurança

2.1 Introdução a Sistemas Instrumentados de Segurança

Os Sistemas Instrumentados de Segurança (SIS), também são conhecidos pelas diversas indústrias de processo como Sistemas de Intertravamento de Segurança, Sistemas de Desligamento de Segurança, ou Sistemas de Desligamento de Emergência, entre outros.

A norma ANSI[1] (2001) define SIS como a instrumentação e controles instalados com o objetivo de trazer o processo, ou equipamento específico no processo, para um estado seguro. Em outras palavras, os SIS são projetados para responder a condições perigosas da planta ou condições potencialmente perigosas (situações em que se uma ação não for tomada pode resultar num evento perigoso) (GRUHN e CHEDDIE, 2006).

O objetivo dos sistemas instrumentados de segurança (*safety instrumented system* - SIS) é reduzir o risco de um processo para um nível tolerável. O SIS alcança esse objetivo diminuindo a frequência de incidentes indesejáveis (MARSZAL e SCHARPF, 2002).

Atualmente, em função do grande avanço da eletrônica digital da última década, os modernos sistemas de proteção usados na indústria utilizam unidades digitais para a realização das suas lógicas de atuação, podendo combinar os sinais dos sensores de várias maneiras e executar acionamentos dos mais diversos tipos de acionadores redundantes, realizando assim, complexas tarefas de intertravamento de segurança em equipamentos ou instalações que lidam com produtos ou processos perigosos.

Um SIS pode ter diferentes níveis de redundância em qualquer um dos seus três componentes básicos (sensor, elemento final e lógica), possibilitando assim um grande número de configurações alternativas (CHAME, 2007).

---

[1] ANSI (*American National Standards Institute*) - O Instituto Nacional de Normas Americanas supervisiona a criação, promulgação e uso de normas e diretrizes que impactam diretamente quase todos os setores comerciais. Este Instituto também está engajado no programa de verificação de conformidade com as normas globalmente reconhecidas como ISO9000 (qualidade), ISO14000 (ambiental).

Os especialistas frequentemente preferem uma definição mais funcional para SIS, como: um sistema composto de sensores, solucionadores de lógicas e elementos finais projetados com o objetivo de (GOBLE e CHEDDIE, 2005):

- Trazer um processo industrial automaticamente para um estado seguro quando as condições específicas são violadas;
- Permitir que um processo avance de maneira segura (funções permissivas); ou
- Agir para mitigar as consequências de um perigo industrial.

As normas relacionadas, IEC 61511 (1998, 2003) e ANSI (2004), definem sistemas instrumentados de segurança como sistemas instrumentados usados para implementar uma ou mais funções instrumentadas de segurança. Um SIS é composto por uma combinação de sensores (indicadores), unidade(s) lógica(s) e elemento(s) final (atuadores).

A norma IEC 61508 (2000) não utiliza o termo SIS. Ao invés dele, utiliza o termo sistema relacionado com segurança. O conceito é o mesmo, mas a linguagem pode ser amplamente aplicada a muitas indústrias.

2.1.1 SIS versus Sistemas de Controle de Processo Básicos (*Basic Process Control System* – BPCS)

Um sistema instrumentado de segurança, como um sistema de controle de processo básico, é também composto de sensores, unidade(s) de lógica e elemento(s) final(finais). Embora parte do *hardware* pareça ser igual, SIS e BPCS diferem muito na função. A função primária de uma malha de controle é geralmente manter o processo variável dentro dos limites prescritos. Um SIS monitora um processo variável e inicia a ação quando requerido.

A Figura 1 apresenta um exemplo de sistema de controle de processo básico versus sistemas instrumentados de segurança.

Enquanto um SIS é similar a um BPCS em muitas maneiras, as diferenças resultam no projeto único, manutenção e requisitos de integridade mecânica, que incluem (GOBLE e CHEDDIE, 2005):

- Projeto para falha-segura;
- Diagnóstico de projeto para detectar falha-segura automaticamente;
- Procedimentos de testes manuais de projeto para detectar falha segura;
- Projeto deve atender normas locais e internacionais.

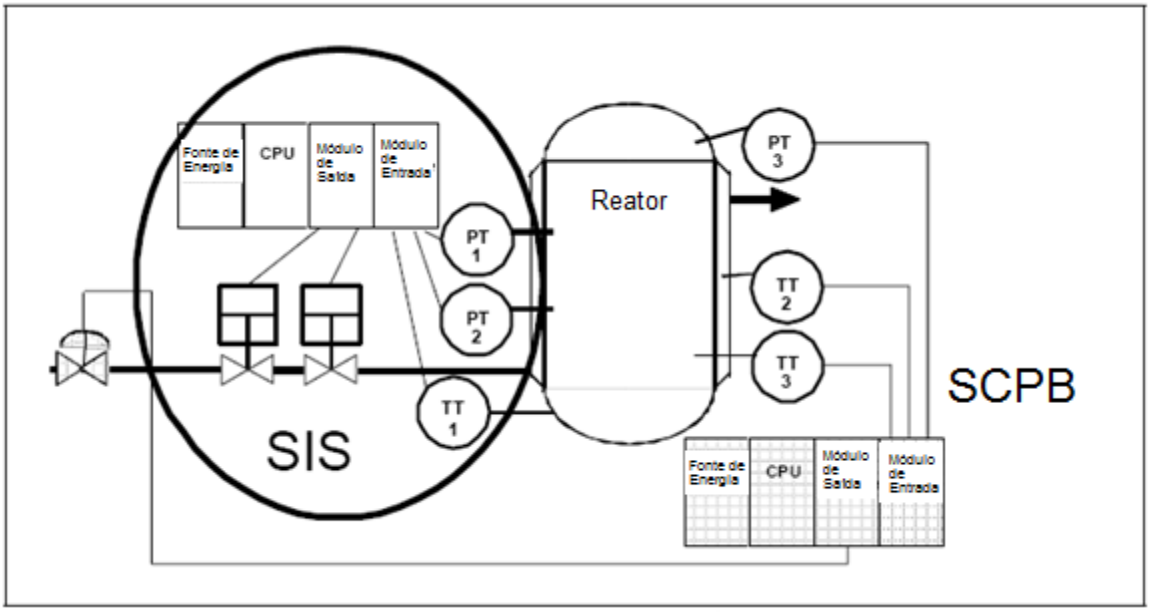

Figura 1 - Sistema de Controle de Processo Básico (*Basic Process Control System*) X Sistemas Instrumentados de Segurança

Fonte: GOBLE e CHEDDIE, 2005.

2.2 Funções Instrumentadas de Segurança (FIS)

Uma função instrumentada de segurança é uma ação realizada por um SIS para trazer o processo ou equipamento sob controle e para um estado seguro. Esta função é um conjunto de ações que protege contra um perigo único específico. Alguns exemplos de FIS podem ser visualizados na Figura 2 (MARSZAL e SCHARPF, 2002):

FIS 1: Fechamento das duas válvulas de alimentação do reator para evitar alta temperatura do reator;

FIS 2: Fechamento da válvula de alimentação de vapor para a recondensadora para evitar alta pressão ou alta temperatura na coluna;

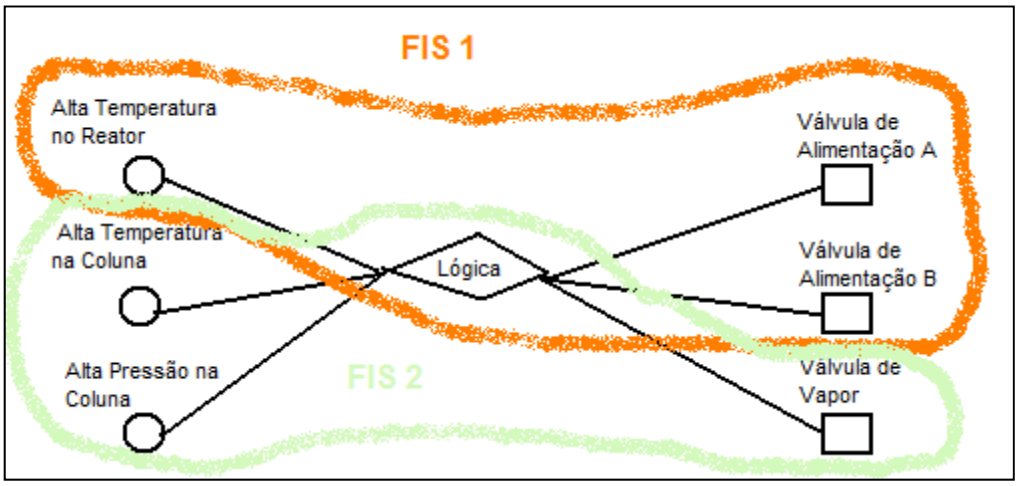

Figura 2 - FIS versus SIS

Fonte: MARSZAL e SCHARPF, 2002.

É possível implantar uma ou mais FIS em um SIS, como apresentado na Figura 2. Uma função de segurança pode incluir múltiplos *inputs* e *outputs*. A FIS 1 é executada com dois *outputs*, que são as duas válvulas de alimentação dos reatores, e a FIS 2 possui dois *inputs*, que são a medida de alta pressão e alta temperatura. É também importante notar que múltiplas FIS podem incluir equipamentos comuns e também a mesma lógica. O SIL pertence a funções instrumentadas de segurança específicas, não ao sistema instrumentado de segurança inteiro. Quando um item de equipamento é comum a múltiplas FIS, ele deve ser projetado para atender o maior requisito de SIL do FIS que ele suporta (MARSZAL e SCHARPF, 2002).

A norma IEC61511 (2003) define a FIS como uma função de segurança com um nível de integridade de segurança específico que é necessário para alcançar segurança funcional e que pode ser tanto uma função de proteção instrumentada de segurança ou uma função de controle instrumentado de segurança.

2.3 Probabilidade de Falha na Demanda (PFD)

A definição de probabilidade é um número adimensional ($0 \leq P \leq 1$) empregado para descrever a chance de ocorrência de um evento durante um intervalo especificado,

ou a probabilidade condicional de que um evento ocorrerá, dado que algum evento precursor ocorreu (informação verbal).[2]

A probabilidade de falha na demanda é a indisponibilidade do sistema. É a fração de tempo em que o sistema está indisponível para executar sua função de segurança, quando a planta está operando (TORRES-ECHEVERRÍA et al, 2009).

Pode-se definir também a Probabilidade de Falha na Demanda como um atributo de confiabilidade que indica qual a probabilidade de um componente falhar em cumprir uma ação previamente especificada no momento em que ela for demandada. Em outras palavras, é possível dizer que se especifica um Sistema Instrumentado de Segurança para se obter um desempenho estatístico esperado, ou seja, para reduzir a possibilidade de acidentes a uma taxa considerada como aceitável e a PFD é o atributo que especifica este valor (CHAME, 2007).

2.4 Níveis de Integridade de Segurança (*Safety Integrity Level* – SIL):

A quantidade de redução de risco que um SIS pode fornecer é representada pelo nível de integridade de segurança (*safety integrity level* – SIL*),* que é definido por um intervalo de probabilidade de falha na demanda.

Os níveis de integridade de segurança (SILs) são categorias baseadas na probabilidade de falha na demanda (PFD) para uma função instrumentada de segurança (FIS) particular. A categoria de probabilidade de falha vai de 1 a 3, como definido pela ANSI (1996), ou de 1 a 4, como definido pela IEC 61508 (1998, 2000) e IEC 61511 (2003). A Tabela 1 mostra o intervalo da PFD e do fator de redução de risco (*Risk Reduction Factor* - RRF) que corresponde a cada SIL (MARSZAL e SCHARPF, 2002).

A recíproca da PFD é chamada de RRF. O benefício do uso deste termo é que a diferença entre os números é mais fácil de ser visualizada. Por exemplo, a diferença entre um fator de redução de risco de 100 para 10.000 é obviamente duas ordens de magnitude (GRUHN e CHEDDIE, 2006).

[2] Dados obtidos em notas de aula da disciplina Engenharia de Confiabilidade, no curso de Pós Graduação da Engenharia Nuclear da Universidade Federal do Rio de Janeiro, ano de 2008, professor Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo, D.Sc.

Tabela 1 - Níveis de Integridade de Segurança e PFD e RRF correspondentes

Fonte: MARSZAL e SCHARPF, 2002; IEC 61508, 2000.

Nível de Integridade de Segurança e PFD e RRF correspondente			
SIL	Intervalo de PFD para baixa demanda	Intervalo de PFD para alta demanda	Intervalo de RRF
4	$10^{-4} \rightarrow 10^{-5}$	$10^{-8} \rightarrow 10^{-9}$	10.000 → 100.000
3	$10^{-3} \rightarrow 10^{-4}$	$10^{-7} \rightarrow 10^{-8}$	1.000 → 10.000
2	$10^{-2} \rightarrow 10^{-3}$	$10^{-6} \rightarrow 10^{-7}$	100 → 1.000
1	$10^{-1} \rightarrow 10^{-2}$	$10^{-5} \rightarrow 10^{-6}$	10 → 100

A probabilidade de falha na demanda pode ser especificada como baixa ou alta. Por exemplo: o freio de um carro, é demandado frequentemente, logo se considera de alta demanda. Por outro lado o sistema de proteção de *air bag* do carro é um sistema de proteção de baixa demanda, já que pode levar anos ou dezenas de anos sem ser necessário.

De acordo com a IEC 61508 (2000), o modo de operação por alta demanda (ou modo contínuo) é quando a frequência da demanda é maior que uma vez por ano e a baixa demanda é quando é menor que esta frequência.

O SIL é o parâmetro de projeto chave que especifica a medida de redução de risco que um equipamento de segurança requer para alcançar uma função particular. Se um SIL não é selecionado, o equipamento não pode ser propriamente projetado, pois somente a ação é especificada, não a integridade. Para projetar uma peça de um equipamento corretamente, são requeridos dois tipos de especificações: uma especificação do que o equipamento faz e uma especificação de o quão bem o equipamento desempenha aquela função. O nível de integridade de segurança trata desta segunda especificação através da indicação de uma probabilidade mínima requerida de que o equipamento irá realizar com êxito e como o equipamento será projetado para fazer quando for solicitado (MARSZAL e SCHARPF, 2002).

De acordo com a IEC 61511 (2003), SIL é o nível discreto (de um a quatro) para a especificação dos requisitos de integridade das funções instrumentadas de segurança a ser alocado para os sistemas instrumentados de segurança. SIL 4 é o sistema de integridade mais alto e SIL 1, o mais baixo.

O que afeta o SIL de uma FIS? O nível de integridade de segurança é afetado pelos seguintes parâmetros (CHAME, 2007):

- Integridade do componente (por exemplo, taxas de falhas e modos de falhas);
- Redundância e votação;
- Intervalo funcional de teste;
- Cobertura de diagnóstico;
- Outras causas comuns (incluindo aquelas relacionadas ao componente/ dispositivo, projeto, fatores sistemáticos e erros humanos).

Os parâmetros integridade do componente/dispositivo, cobertura de diagnóstico e causa comum, são tipicamente limitados pelo dispositivo FIS e práticas de instalação. As exigências de redundância e intervalos funcionais de testes têm o maior impacto no projeto e nas práticas de operação/manutenção nas unidades de processo existentes (CHAME, 2007).

Para designar um SIL, ou seja, identificar quanto de redução de risco será necessária para alcançar o risco tolerável, podem-se utilizar métodos quantitativos, que fornecem um valor numérico específico para o risco (ex.: fator de redução do risco), ou métodos qualitativos, que fornecem uma faixa dentro de um grupo de categorias de redução de risco. Os diferentes métodos de cálculos de SIL não fazem parte do escopo deste trabalho, por isso não serão detalhados.

2.5 Normas relacionadas com Nível de Integridade de Segurança

Com o grande avanço da automação industrial na última década, os Sistemas Instrumentados de Segurança passaram a representar um dos principais pilares da segurança de processo nas indústrias química, petroquímica e de óleo/gás. Por se tratarem de aplicações novas, para as quais não se dispunha de experiência prática significativa, e pelo grande aumento da complexidade deste tipo de sistema de proteção, surgiram alguns questionamentos quanto ao nível efetivo de proteção pelos SIS. Dado este cenário, foram editadas várias normas sobre o desenvolvimento, projeto e manutenção dos SIS (CHAME, 2007).

Nos Estados Unidos, a ISA – *Instrumentation, Systems and Automation Society* desenvolveu ANSI (1996), "*Application of Safety Instrumented Systems for the Process Industries"* baseado no regulamento de gerenciamento de segurança de processo da OSHA[3], de 1996 (MARSZAL e SCHARPF, 2002).

Nos anos 90, a Comissão Eletrotécnica Internacional (*International Eletrotechnical Commission* - IEC[4]) desenvolveu a IEC 61508, *"Functional Safety of Eletric/ Eletronic/ Programmable Eletronic Safety-Related Systems*" (MARSZAL e SCHARPF, 2002).

Em 1998 foi publicada a primeira parte da IEC 61508 e a sua emissão final foi em 2000. A IEC 61508 foi desenvolvida para cobrir numerosas indústrias. A IEC, desde então, desenvolveu normas específicas da indústria para suportar a 61508, como a IEC 61511 para o setor de processo (MARSZAL e SCHARPF, 2002).

A norma ANSI (2004) foi emitida em Setembro de 2004, uma versão norte-americana da IEC 61511. Esta é idêntica à IEC 61511, em cada detalhe, exceto pela inclusão de uma cláusula retirada da OSHA 29CFR1910.119 (GOBLE e CHEDDIE, 2005).

No Brasil, ainda em função deste avanço da automação industrial, em 1997, a PETROBRAS elaborou a Norma PETROBRAS CONTEC N-2595 (1997) – Critérios de Projeto e Manutenção para Sistemas Instrumentados de Segurança em Unidades Industriais, para uso nas instalações da PETROBRAS (CHAME, 2007).

No Brasil essas normas vêm se tornando cada vez mais conhecidas e vários dos grandes projetos nacionais demandam tanto produtos certificados segundo a norma IEC 61508, como também conhecimento das normas por parte dos engenheiros e fornecedores envolvidos nestes projetos (NORMA, 2011).

---

[3] OSHA (*Occupational Safety & Health Administration*) – O OSHA faz parte do Departamento do Trabalho Norte-Americano. Foi criado com o objetivo de assegurar condições de trabalho seguras e saudáveis através da criação e aplicação de normas.

[4] IEC (*International Eletrotechnical Commission*) – Esta Comissão foi fundada em 1906, é a organização líder mundial na elaboração e publicação de normas internacionais que envolvem toda tecnologia relacionada com elétrica e eletrônica.

De acordo com Finkel et al (2006), as normas sobre Sistemas Instrumentados de Segurança (SIS) têm como denominador comum não serem normas prescritivas e sim orientadas para exigir que se atinja um nível de desempenho desejado pelo sistema. Elas dizem o que precisa ser feito, mas não como fazê-lo. Exigem do profissional que as usa um conhecimento de causa bem maior do que quem queira simplesmente seguir uma receita de "como se projeta" um sistema. A norma pode ser aplicada com qualquer tipo de tecnologia existente ou futura. Assim, a tendência é não ser necessário se revisar a norma a cada vez que surgir uma nova tecnologia aplicável a sistemas de segurança, o que seria indesejável, levando-se em conta o tempo de estudo, maturação e aprovação destas normas (*apud* SOPPA, 2009).

As normas citadas serão detalhadas nas subseções subsequentes.

2.5.1 Norma IEC 61508

O objetivo primário da IEC 61508 é servir como um guia para ajudar diversas indústrias a desenvolver normas suplementares específicas para as suas aplicações. O segundo objetivo da norma é habilitar o desenvolvimento elétrico/ eletrônico/ eletrônico programável (E/E/PE) dos sistemas relacionados com segurança onde não existam normas específicas na indústria (GOBLE e CHEDDIE, 2005).

A estratégia geral desta norma é estabelecer uma meta de SIL baseada nas análises de perigo e risco e depois projetar os equipamentos relacionados com segurança para um nível de integridade apropriado (SMITH e SIMPSON, 2004).

A norma é genérica, isto é, fornece uma abordagem generalizada para o gerenciamento e projeto dos sistemas de segurança funcionais que podem ser aplicados para qualquer tipo de indústria. É destinada para uso direto em qualquer projeto, mas também é usada como base de normas do setor industrial (MACDONALD, 2004).

A norma IEC 61508 está dividida em sete partes. As partes de I a III são as principais e as de IV a VII são materiais suplementares. Estas sete partes são descritas a seguir (SMITH e SIMPSON, 2004):

- Parte I – Requisitos Gerais *(General Requirements)* , que cobre o gerenciamento de segurança funcional geral, ou seja, o sistema de gestão que estabelece as atividades, procedimentos e habilidades necessárias para gerenciar o risco do projeto e atender os níveis de integridade; fala também sobre o ciclo de vida de segurança (que será detalhado posteriormente neste trabalho) e os requisitos de cada etapa do ciclo de vida e a definição de SIL e a necessidade da análise de perigos para a determinação do SIL.
- Parte II – Requisitos para Sistemas relacionados com segurança elétrico/ eletrônico/ eletrônico programável *(Requirements for Electrical/ Eletronic/ Programmable Eletronic Safety Related Systems)* , aborda principalmente os aspectos do hardware dos sistemas relacionados com segurança.
- Parte III – Requisitos de Software *(Software Requirements)* , que aborda as atividades e técnicas para o projeto do software, cita também falha sistemática.
- Parte IV – Definições e Abreviações (*Definitions and Abbreviations*) , como o próprio nome já diz contém as abreviações e definições dos termos utilizadas nas partes de I a VII da norma.
- Parte V – Exemplo de Métodos para a determinação dos Níveis de Integridade de Segurança (*Examples of Methods for the Determination of Safety Integrity Levels*), fornece alguns exemplos de técnicas qualitativas e quantitativas de cálculo do SIL.
- Parte VI – Guia da aplicação da IEC 61508-2 e IEC 61508-3 *(Guidelines on the Application of IEC 61508-2 and IEC 61508-3),* possuem anexos informativos das partes II e III desta norma.
- Parte VII – Revisão das técnicas e medidas *(Overview of Techniques and Measures),* esta parte serve como um guia de referência para as técnicas e medições.

Em junho de 2010 uma nova edição da norma IEC 61508 foi publicada para substituir a edição da norma de 1998. Esta edição constitui-se numa revisão técnica (UNDERWRITES, 2010).

Do ponto de vista do fornecedor, a segunda edição fornece um guia adicional sobre o que é requerido para rastreabilidade dos componentes da cadeia de suprimentos. A compreensão dos requisitos para os componentes relativos aos diferentes SIL pode fornecer um nível de garantia para integradores de sistemas. Tendo a visibilidade sobre o processo de desenvolvimento dos componentes, é possível construir um sistema mais amplo e fornecer um mecanismo de gerenciamento de risco mais consistente (UNDERWRITES, 2010).

O “elemento” é um conceito introduzido na segunda edição da norma, todo o desenvolvimento e cálculo de verificação são agora realizados baseados neste conceito. Um elemento pode ser considerado o elemento de mais baixo nível em que o sistema relacionado com a segurança é composto, sendo baseado na hierarquia de segurança funcional. Por exemplo, o parâmetro de SIL “fração de falha segura” deve ser determinado por elemento, não como um subsistema (UNDERWRITES, 2010).

Um grupo de técnicas e medidas essenciais para a prevenção e introdução de falhas durante o projeto e desenvolvimento destes componentes é introduzido nesta nova versão da norma (UNDERWRITES, 2010).

2.5.2 Norma IEC 61511

Esta norma é a implementação do setor de processo, baseada na norma IEC 61508. Esta norma foi emitida, no início de 2003, com foco no usuário final, pessoa responsável pelo projeto e operação de um SIS, e está dividida em três partes (SMITH e SIMPSON, 2004):

- Part I – Definições e requisitos de Sistemas, Hardwares e Softwares *(General framework; definitions, bibliografy and system/software/hardware requirements),* cobre o ciclo de vida de segurança, incluindo o gerenciamento da segurança funcional, análise de perigos e risco do processo e as etapas do projeto do SIS até o descomissionamento do SIS;
- Part II – Guia Informativo da Parte I *(Guidelines on the application of Part I),* fornece um guia geral para a utilização da parte I, parágrafo por parágrafo.

- Parte III – Guia Informativo das Análises de Perigo e Risco *(Guidelines in the application of Hazard and Risk Analysis)*, fornece um guia detalhado para a determinação do SIL e possui apêndices cobrindo métodos qualitativos e quantitativos.

Pode- se dizer que a parte I é a porção normativa da IEC 61511, enquanto as partes II e III são as porções informativas (GRUHN e CHEDDIE, 2006).

A norma segue os requisitos da IEC 61508, mas modifica-os para atender à situação prática de uma planta de processo. A IEC 61511 não abrange a concepção e manufatura dos produtos para uso em segurança, uma vez que eles permanecem cobertos pela IEC 61508 (MACDONALD, 2004).

2.5.3 Normas ISA

A ISA é uma sociedade internacional para medição e controle. O comitê da ISA trabalhou por mais de 10 anos desenvolvendo a norma ANSI (1996). O escopo deste documento sofreu muitas alterações ao longo deste período. Este comitê acreditava que a ANSI (1996) poderia ser utilizada como uma norma específica para a indústria de processo (GRUHN e CHEDDIE, 2006). Durante o desenvolvimento desta norma, o comitê da IEC iniciou o desenvolvimento da 61508.

Em 1996 foi emitida a norma ANSI (1996), Aplicação de Sistemas Instrumentados de Segurança para Indústria de Processo (*"Application of Safety Instrumented Systems for the Process Industries").*

Esta norma define apenas três níveis de SIL, equivalentes aos níveis de 1 a 3 da IEC 61508. O nível de integridade com probabilidade maior do que 10^{-4} não é reconhecido pela norma, implicando na necessidade de mais níveis de proteção para atingir alta integridade (SMITH e SIMPSON, 2004).

O comitê pretendia revisar a norma ANSI (1996) de cinco em cinco anos, para considerar novos desenvolvimentos. Ao invés de reescrever a norma ISA-84.91-1996 do início, decidiu-se adotar a norma IEC 61511 com a adição de uma cláusula da versão original da norma ANSI (1996) (GRUHN e CHEDDIE, 2006).

Esta cláusula permite aos usuários manter o seu SIS, que foi projetado com as boas práticas de engenharia anteriores, sem ter necessidade de atualizar o SIS para a norma atual, ou seja, garante à empresa a possibilidade de manter seus antigos projetos de equipamentos com boas práticas de engenharia reconhecidas e aceitas, enquanto a companhia garante que o SIS está projetado, mantido, inspecionado, testado e operando de maneira segura (CHAME, 2007).

Em 2004 foi emitida a norma ANSI (2004), Segurança funcional: Sistemas Instrumentados para o Setor da Indústria de Processo (*"Functional Safety: Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector").*

2.5.4 Norma Petrobras N-2595

As normas técnicas da Petrobras são elaboradas por Grupos de Trabalho formados por especialistas da companhia e das suas subsidiárias, são comentadas pelos Representantes Locais (representantes das Unidades Industriais, Empreendimentos de Engenharia, Divisões Técnicas e Subsidiárias), são aprovadas pelas Subcomissões Autoras – SCs (formadas por técnicos de uma mesma especialidade, representando os Órgãos da Companhia e as Subsidiárias) e aprovadas pelo Plenário da CONTEC (formado pelos representantes das Superintendências dos Órgãos da Companhia e das suas Subsidiárias, usuários das normas), PETROBRAS (1997).

A norma da CONTEC N-2595 PETROBRAS (1997), Critérios de Projeto e Manutenção Para Sistemas Instrumentados de Segurança em Unidades Industriais, foi emitida em Novembro de 1997 pela Petrobras.

Esta norma foi desenvolvida com o objetivo de fixar as condições exigíveis e as práticas recomendadas no projeto e manutenção de Sistemas Instrumentados de Segurança, para uso nas instalações da Petrobras.

A N-2595 procura tratar o ciclo do SIS de forma objetiva, mas a N-2595 pode não ser diretamente aplicável a outra empresa que não a Petrobras porque a determinação do SIL requerido, por exemplo, depende do risco tolerado pela empresa, e este pode não ser igual ao da estatal (SIL, 2011).

2.5.5 Normas DIN

As normas alemãs DIN V foram publicadas para sistemas de segurança e também foram usadas como uma das referências para as normas IEC. Antes da publicação do IEC 61508, as normas alemãs DIN V 19250 e VDE 801 eram usadas para certificação de produtos. Atualmente, elas devem ser utilizadas em conjunto com as normas IEC 61508 (SMITH e SIMPSON, 2004).

A norma DIN V 19250 descreve o conceito da IEC 61508 de redução de risco por uma ou mais medidas de proteção. Os alemães têm uma agência de certificação independente, que é praticamente a única reconhecida mundialmente, para sistemas de segurança, a TUV. Uma diferença significativa entre a IEC 61508 e a DIN/VDE 19250 é a classificação dos níveis de integridade de segurança. Esta norma estabelece o conceito de que sistemas de segurança devem ser projetados para encontrar determinadas classes, denominas Classe 1 (AK1) até Classe 8 (AK8) (SOPPA, 2009).

A Norma DIN VDE 0801 é uma norma alemã apenas para os fabricantes dos sistemas. Detalha exigências para fabricação baseados nos riscos calculados conforme a norma DIN/VDE 19250 (SOPPA, 2009).

A norma DIN VDE 801 também é baseada no ciclo de vida e lida com métodos que objetivam evitar erros no desenvolvimento do hardware e do software. Utiliza as mesmas categorias de risco da norma DIN V 19250 (SMITH e SIMPSON, 2004).

2.6 Ciclo de Vida de Segurança

O conceito de ciclo de vida de segurança vem sendo posto à frente de muitas normas internacionais, como ANSI (1996), IEC 61508 (2000) e IEC 61511 (2003). O ciclo de vida de segurança é essencialmente um método ou processo que fornece um contexto global para a especificação, projeto, implementação e manutenção dos sistemas instrumentados de segurança de forma a alcançar a segurança funcional global de maneira documentada e verificada. Entender o ciclo de vida de segurança é um pré-requisito para selecionar um SIL para qualquer sistema relacionado com segurança (MARSZAL e SCHARPF, 2002).

De acordo com Goble e Cheddie (2005), a definição do ciclo de vida de segurança é um processo de engenharia que utiliza passos específicos para garantir que os SIS sejam efetivos em sua missão de redução de risco, bem como custo-efetivo sobre a vida útil do sistema.

O processo do ciclo de vida da IEC 61508 (2000) é apresentado esquematicamente na Figura 3.

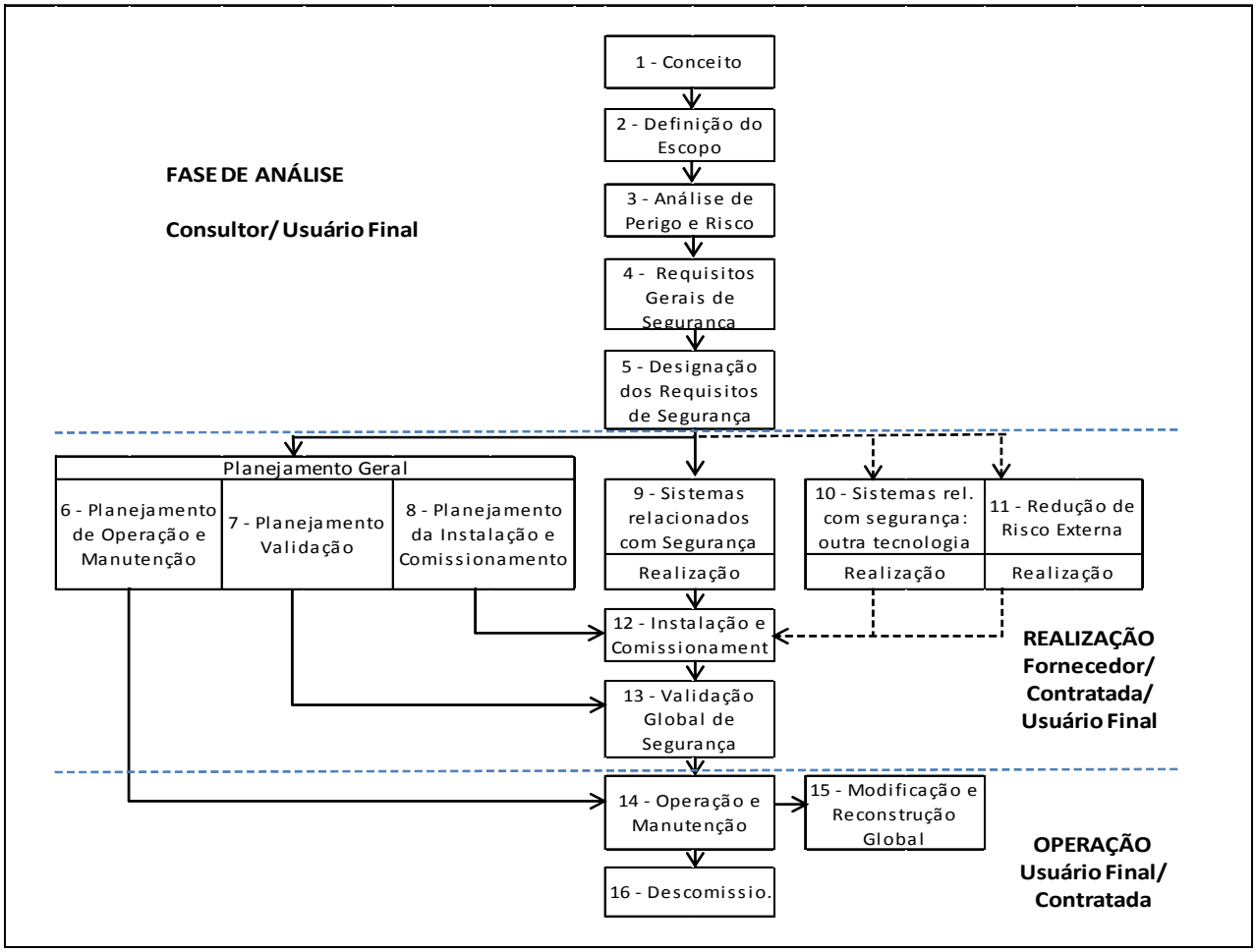

Figura 3 - Ciclo de Vida de Segurança, IEC 61508

Fonte: GOBLE e CHEDDIE, 2005.

O ciclo de vida inicia-se com o projeto conceitual do processo e finaliza apenas após o decomissionamento do SIS. A ideia principal é que a segurança deve ser considerada desde o projeto conceitual do processo e deve ser mantida durante todo o projeto, operação e manutenção (GOBLE e CHEDDIE, 2005).

Segundo Marzal e Scharpf (2002), o processo do ciclo de vida de segurança pode estar dividido em três fases: análise, realização e operação. Essas fases serão detalhadas nas subseções seguintes.

2.6.1 Fase de Análise do Ciclo de Vida de Segurança

A fase de análise inclui o planejamento inicial, identificação e especificação das funções que são necessárias para aplicar adequadamente sistemas de segurança para o processo. As funções individuais e o fluxo de informação requerido para realizar estas atividades estão sumarizados na Figura 4 (MARSZAL e SCHARPF, 2002).

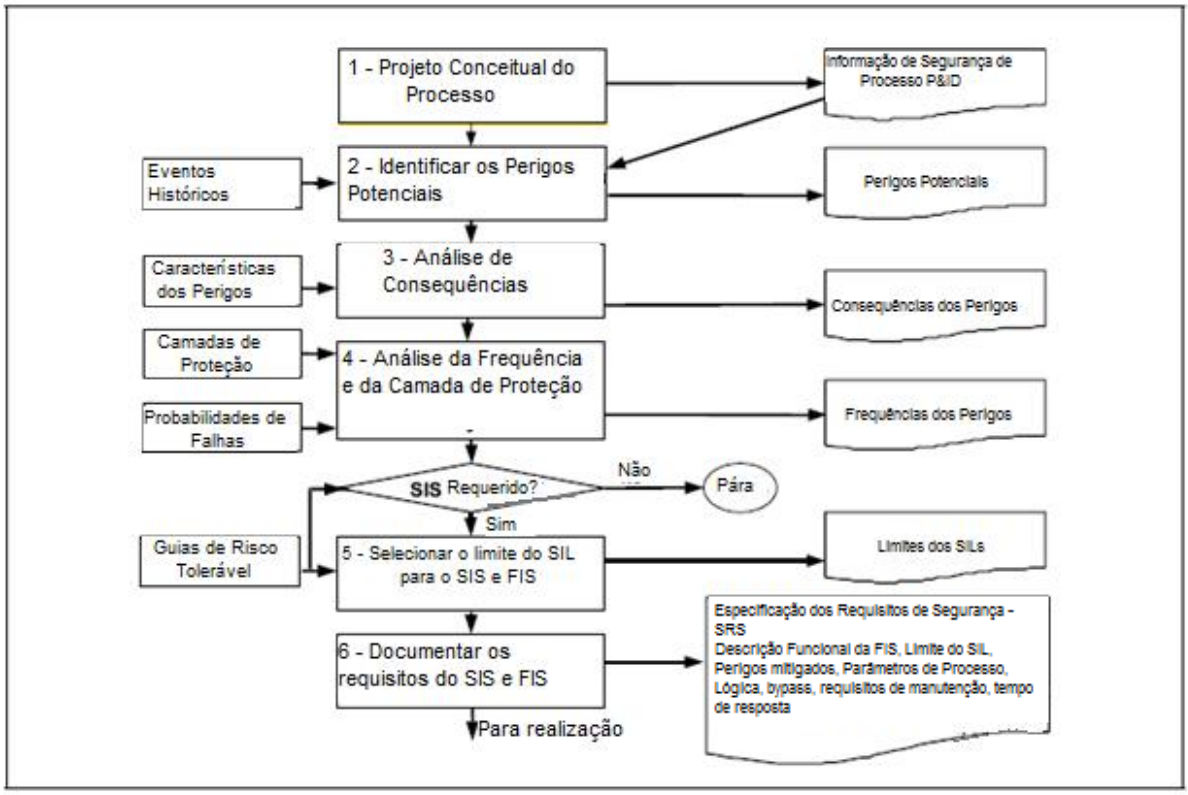

Figura 4 – Atividades em detalhes para a fase de análise do ciclo de Vida de Segurança

Fonte: GOBLE e CHEDDIE, 2005.

A fase de análise foca claramente o processo de seleção do SIL correspondente. O ciclo de vida de segurança inicia-se com o escopo e conceitos do projeto inicial do processo. É importante identificar claramente o propósito do projeto em termos de metas e resultados mensuráveis. A definição do escopo deve designar claramente

os limites do processo e equipamentos em que serão realizadas as análises de perigo e risco. Outro ponto que a organização deve considerar no início do projeto é o nível de risco que será tolerado na operação diária. O próximo passo é a classificação dos perigos e análise dos riscos. A primeira atividade relevante é identificar os perigos e eventos perigosos que podem ocorrer na operação dos equipamentos ou processo. Muitos órgãos ambientais, leis ou normas requerem rigorosamente que essa identificação seja realizada por uma análise de perigos de processo. Uma vez que a organização identificou os perigos e potenciais FISs, é necessário classificar a frequência de ocorrência do evento. O nível do risco tolerável pela organização deve então ser comparado com os riscos apresentados no processo e a organização saberá de quanto deverá ser a redução do risco do processo e se um SIS é requerido para realizar uma FIS. A redução do risco requerida irá determinar qual SIL deverá ser selecionado para a FIS em questão.

Para completar a fase de análise do ciclo de vida de segurança, todas as informações e resultados devem ser documentados na especificação de requisitos de segurança (*safety requirements specification* – SRS). Segundo a IEC 61508 (2000), o objetivo do SRS é desenvolver uma especificação dos requisitos de segurança globais, em termos de requisitos funcionais de segurança e requisitos de integridade de segurança (MARSZAL e SCHARPF, 2002).

De acordo com a IEC 61511 (2003), quando uma ação humana é parte de um SIS, a disponibilidade e a confiabilidade da ação do operador devem ser especificadas no SRS.

2.6.2 Fase de Realização do Ciclo de Vida de Segurança

A fase de realização engloba o projeto, fabricação, instalação e teste do SIS que foi especificado na fase de análise do projeto. A fase de realização não pode ser corretamente executada se a especificação não for clara e corretamente desenvolvida na fase de análise (MARSZAL e SCHARPF, 2002).

A Figura 5 sumariza as funções individuais e o fluxo de informação que são necessários para a fase de realização.

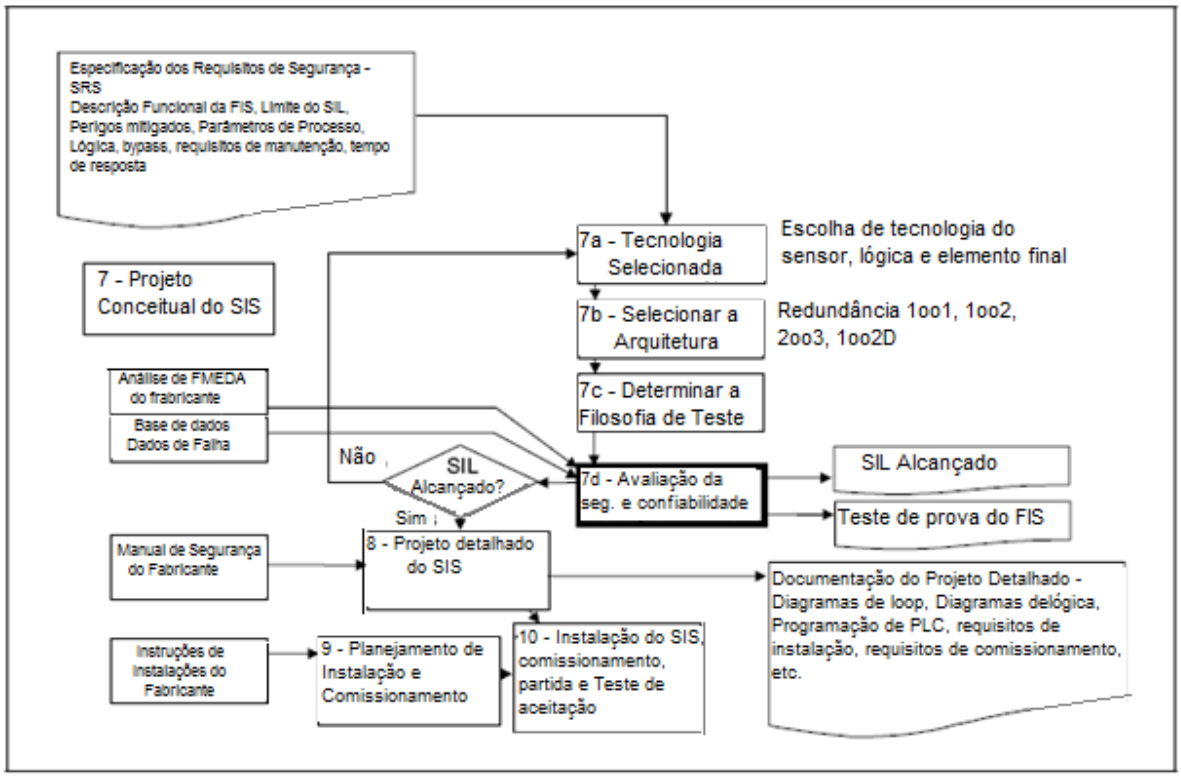

Figura 5 – Atividades em detalhes para a fase de realização do ciclo de Vida de Segurança

Fonte: GOBLE e CHEDDIE, 2005.

Com o SRS em mãos, a primeira tarefa da fase de realização é selecionar qual a tecnologia e arquitetura do sistema instrumentado de segurança necessárias para atender aos requisitos da especificação.

O próximo passo realizado pelo grupo de projeto é revisar a filosofia do teste periódico estabelecido no SRS, para garantir que ele atenda às especificações antes de serem colocados em uso. O teste e intervalo de reparo devem ser considerados corretamente, já que eles afetam o SIL do sistema.

Uma vez que o projeto conceitual esteja completo, a organização deve analisar o sistema para confirmar se o SIL atende o valor que foi selecionado e documentado no SRS. O sistema só é projetado e fabricado se atender ao SIL selecionado.

A parte final da fase de realização é o planejamento e a execução da instalação, comissionamento e validação do sistema (MARSZAL e SCHARPF, 2002).

2.6.3 Fase de Operação do Ciclo de Vida de Segurança

A fase de operação é a mais longa do ciclo de vida de segurança. Ela se inicia com a revisão de segurança de pré-partida da unidade (*Pre-Startup Safety Review* – PSSR), seguida da partida e continua até a fase de descomissionamento, como apresentado na Figura 6.

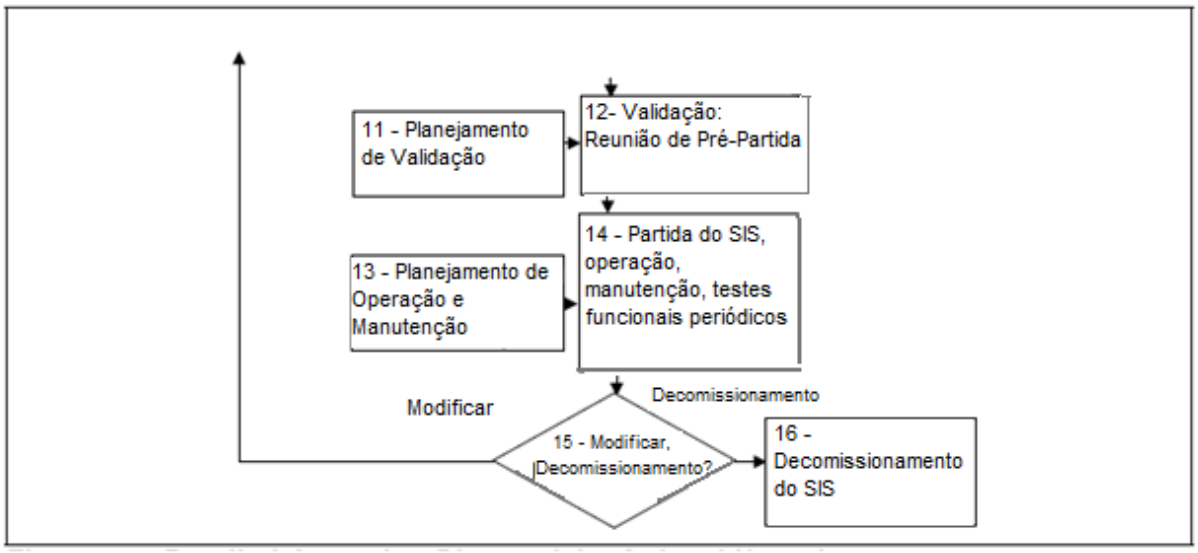

Figura 6 – Atividades em detalhes para a fase de operação do ciclo de Vida de Segurança

Fonte: GOBLE e CHEDDIE, 2005.

A parte mais significativa desta fase é a manutenção e teste do SIS, já que o SIL pode ser afetado pelo número de vezes que o SIS é testado e reparado. Gerenciamento das mudanças também é importante para que toda modificação do sistema seja tratada corretamente. Dependendo da natureza da mudança, poderá levar a uma nova verificação das fases de projeto.

O descomissionamento é o fim do ciclo de vida de segurança. Antes do equipamento ser desenergizado, a organização deve analisar os efeitos do descomissionamento em ambos os equipamentos ou processo diretamente sob controle e em qualquer sistema estreitamente integrado (MARSZAL e SCHARPF, 2002).

É preciso reconhecer que o Ciclo de Vida de Segurança e os Sistemas Instrumentados de Segurança associados precisam ser parte do um Sistema de

Gerenciamento de Segurança global da planta inteira. O Sistema de Gerenciamento pode ser definido como um programa ou conjunto de atividades envolvendo a aplicação dos princípios de gerenciamento e análises para garantir a segurança de processo global da planta.

Para o ciclo de vida ser corretamente adotado e implantado, ele deve estar integrado com o Sistema de Gerenciamento de Segurança global da planta e sua importância deve ser reconhecida e priorizada. Esta integração é muitas vezes o maior desafio para a planta, devido às barreiras da organização (GOBLE e CHEDDIE, 2005).

Fatores humanos e organizacionais são discutidos explicitamente e implicitamente em muitas fases do ciclo de vida de segurança, mas não existe um requisito para que estes fatores sejam analisados quantitativamente.

Apesar da norma IEC 61508 (2000) levar em conta o ciclo de vida, que também inclui operação e manutenção, existe um foco pequeno em como o SIL é mantido no nível desejado durante a fase de operação. A maioria das publicações sobre o assunto na literatura está preocupada com a determinação do SIL requerido e em demonstrar o SIL alcançado na fase de partida. Porém, o desempenho do sistema instrumentado de segurança na fase operacional é influenciado por muitos fatores humanos, não apenas pelo projeto do sistema e os testes e estratégias de manutenção relacionados, mas também as condições de operação no sistema sócio-técnico de que ele é parte. Isto inclui tanto fatores humanos como organizacionais. Esses fatores podem ameaçar o SIL alcançado na fase de operação, mas normalmente não são contabilizados (SCHÖNBECK, 2007).

Capítulo 3 – Impacto dos Fatores Humanos e Organizacionais na Segurança de uma Unidade

3.1 Acidentes relacionados com Fatores Humanos e Organizacionais

No passado, os acidentes industriais eram reportados principalmente em termos de mau funcionamento tecnológico e o elemento humano na causa do acidente tendia a ser ignorado (GORDON, 1998).

Atualmente, muitos autores têm estudado a relação dos fatores humanos e organizacionais com os acidentes ocorridos. Segundo Salvi e Debray (2006), 80% dos maiores acidentes têm causas relacionadas com fatores humanos e organizacionais. De acordo com Paté-Cornell et al (1996), a maioria dos acidentes severos têm mostrado envolver um ou mais erros humanos, normalmente relacionados a problemas de gerenciamento.

Jacobsson et al (2009) analisou os principais acidentes industriais desde 1992 até 2005 e verificou que uma grande porcentagem (faixa de 50-80%) destes acidentes foi causada por deficiência no sistema de gerenciamento de segurança e cultura de segurança.

Segundo Nunes (2002), o erro humano relacionado com falta de treinamento e capacitação técnica é uma das principais causas geradoras de acidentes nas atividades industriais.

Para prevenir incidentes/acidentes e controlar os riscos, as empresas desenvolvem sistemas sofisticados e novas soluções técnicas. Porém, é necessário também estar atento ao comportamento dos operadores e gerentes, que devem ser sistematicamente verificados, para que o controle seja eficaz e completo. De nada adianta investir pesado em máquinas e equipamentos de ponta se a equipe não estiver afinada com os objetivos da empresa.

Muitos dos graves desastres da história, como *Chernobyl, Three Mile Island e Piper Alpha,* tiveram como causa raiz ou fatores contribuintes, os fatores humanos. (GORDON, 1998).

A seguir, um destes graves acidentes foi aleatoriamente escolhido e descrito, e os principais problemas encontrados, decorrentes da análise deste evento, são apontados.

3.1.1 Acidente da *Piper Alpha*

Em 1988, houve um incêndio seguido de explosão na plataforma de petróleo *Piper Alpha*, que afundou no setor britânico do Mar do Norte, causando a morte de 167 pessoas. Somente 61 membros da tripulação sobreviveram. A *Piper Alpha* era uma plataforma de produção de petróleo do Mar do Norte, operada pela *Occidental Petroleum* (ATHERTON, 2008).

Em 6 de julho, num procedimento de manutenção, a válvula de alívio localizada na descarga da bomba reserva de condensado foi removida para inspeção e uma permissão de trabalho foi aberta para a atividade, pelo supervisor da manutenção. O turno de trabalho terminou e eles ainda não haviam reposto a válvula. Um flange cego foi colocado no local da válvula e eles planejavam concluir a atividade no dia seguinte (ATHERTON, 2008).

Houve troca de turno e o pessoal do novo turno não foi informado sobre a remoção da válvula. A permissão de trabalho aberta pelo supervisor da manutenção foi apenas deixada por ele em cima da mesa do gerente, sem nenhuma comunicação verbal ao turno seguinte (ATHERTON, 2008).

Mais tarde, a bomba de condensado primária falhou e os operadores realizaram a partida da bomba reserva. O turno da noite sabia que a bomba reserva havia sido colocada fora de serviço para manutenção pelo turno anterior, mas acreditaram que a manutenção não havia sido iniciada (ATHERTON, 2008).

Quando eles partiram a bomba reserva, dentro de segundos, uma grande quantidade de gás começou a escapar pelo flange cego que não havia sido bem apertado. Logo após, houve uma explosão numa área de espaço confinado (KLETZ, 1998). A explosão iniciou incêndios secundários no óleo, derretendo a tubulação de chegada de gás. O fornecimento de gás causou uma segunda grande explosão que engolfou toda a plataforma. O sistema de dilúvio automático, projetado para conter

ou apagar incêndios, não chegou a ser ativado porque estava em modo manual, devido a operações com mergulho. Os dutos de gás que estavam abastecendo o fogo só foram fechados cerca de uma hora depois que eles tinham estourado, porém o fogo continuou, abastecido com o óleo e o gás da plataforma, presentes nos tubos queimados (ATHERTON, 2008).

A tripulação começou a agrupar-se na área de alojamentos, na parte da plataforma que era a mais distante da chama e parecia ser a menos perigosa, à espera dos helicópteros. Porém, os alojamentos não eram à prova de fumaça e, devido à falta de treinamento, as pessoas abriram e fecharam as portas repetidamente, facilitando a entrada de fumaça. Todas as rotas para os barcos salva-vidas foram bloqueadas por fumaça e chamas e, na falta de qualquer outra instrução, algumas pessoas saltaram no mar à espera de resgate, por barcos. Foram salvos somente sessenta e um homens. A maioria dos outros, os cento e sessenta e sete trabalhadores, morreram sufocados na área de alojamentos (ATHERTON, 2008).

Muitos problemas podem ser facilmente identificados na análise deste acidente, tais como:

- Falha no procedimento de permissão de trabalho;
- Falha de comunicação entre turnos;
- Sistema de dilúvio automático desativado;
- Fechamento tardio dos dutos de gás de abastecimento para a plataforma;
- Ausência de detector de fumaça nos alojamentos;
- Falta de treinamento em situações de emergência;
- Ausência de bloqueio e etiquetagem;
- Rotas de fuga para os barcos salva-vidas pareciam não ser as melhores opções.

Acidentes frequentemente apontam erros humanos como causa imediata de uma falha catastrófica, sugerindo ser inevitável. Porém, frequentemente a análise falha não indo além, ou seja, identificando os problemas organizacionais que são as reais causas raízes (PATÉ-CORNELL el al, 1996). Como por exemplo, no caso do acidente da *Piper Alpha*, em que segundo Kletz (1998), o relatório oficial concluiu

que o pessoal de operação não tinha comprometimento com o procedimento escrito, já que o procedimento foi desconsiderado pelos trabalhadores.

Mas é preciso prosseguir nas perguntas para obter-se uma análise completa do acidente e se chegar a real causa-raiz e fatores contribuintes do evento, como: “Por que o pessoal da operação não tinha comprometimento com o procedimento escrito?”; “Havia um procedimento escrito?”; “Os trabalhadores foram devidamente treinados neste procedimento?”; “A liderança estava comprometida com os procedimentos?”; “Havia uma cultura de segurança na plataforma?”. Paté-Cornell (1996) foi além do relatório oficial nas suas análises e chegou as seguintes conclusões:

- Uma das razões porque o acidente de *Piper Alpha* foi tão severo foi devido ao fato dos gerentes de operação não agirem corretamente diante da severidade do evento, pois não foram treinados para tal situação de emergência. Treinamento de emergência é essencial para uma operação com segurança. (PATÉ-CORNELL et al, 1996).
- Segundo Paté-Cornell (1993), a cultura interna de segurança desta plataforma de trabalho era desencorajadora e a comunicação de más notícias de pequenos incidentes e quase-incidentes eram ignoradas. O aprendizado sobre o acidente similar ocorrido um ano antes do desastre de 1988, em que um homem foi morto devido à falha no procedimento de permissão de trabalho após a mudança de turno, foi ignorado.
- O acidente da *Piper Alpha* é um típico exemplo de como problemas no gerenciamento podem induzir a comportamentos que ocasionam catástrofes (PATÉ-CORNELL et al, 1996).

3.2 Fatores Humanos e Organizacionais

A definição tradicional de fatores humanos é o estudo científico da interação entre homem e máquina. Esta definição foi estendida recentemente para abranger os efeitos que o indivíduo, grupo e fatores organizacionais têm sobre a segurança (GORDON, 1998).

Os fatores humanos são propriedades físicas ou cognitivas do comportamento individual ou social que é específico para os seres humanos. Envolve o estudo de todos os aspectos do modo como os humanos se relacionam com o mundo ao redor deles, com o objetivo de melhorar o desempenho operacional e de segurança.

Para controlar riscos e prevenir acidentes, incidentes e doenças, as empresas desenvolvem sistemas de gerenciamento sofisticados e soluções técnicas. Mas não podemos confiar somente em sistemas e tecnologias para atingir nossos objetivos. Sem habilitar e aperfeiçoar um comportamento adequado da gerência e do pessoal, os esforços para melhorar os sistemas e a tecnologia podem ser em vão. Como resultado, os fatores humanos devem ser sistematicamente considerados (DNV, 2009).

Alguns fatores como; a maneira que a organização está estabelecida, como a organização gerencia seus recursos e que processos devem ser seguidos, podem ter um grande impacto na segurança da unidade. Esses fatores são chamados de fatores organizacionais e são aplicáveis a todo tipo de organização (CAMERA, 2011).

Os fatores humanos que afetam a segurança foram definidos por Gordon (1998) como fatores organizacionais, de grupo e individual. Em nível organizacional, a autora cita vários fatores que podem contribuir para a ocorrência de um evento indesejado, como por exemplo: programa de corte de custo, ou nível de comunicação entre os trabalhadores. Em um grupo, a relação entre os membros do grupo de trabalho e entre seus supervisores, tem um potencial de influenciar a segurança das instalações. Individualmente, a otimização da interface homem-máquina é avaliada, como por exemplo: a competência individual, o *stress*, a motivação ao trabalho, os problemas pessoais de saúde e a contribuição para o erro humano na probabilidade dos acidentes são examinados.

Muitas relações entre fatores humanos e organizacionais têm sido propostas, porém muitas delas têm diferentes significados. Alguns autores, como Gordon (1998), usam o termo fatores humanos como um termo geral que engloba tanto os fatores organizacionais (ex.: procedimento), como os fatores individuais (como motivação). Porém, outros autores (Øien, 2001) definem fatores organizacionais incluindo tanto

fatores individuais como aspectos do ambiente de trabalho (*apud* SCHÖNBECK, 2007).

Gordon (1998), revisando a literatura sobre fatores organizacionais, chegou à conclusão que o clima organizacional é muito importante para um ambiente de trabalho seguro. Ressaltou também a necessidade do compromisso com segurança do gerente sênior, na estratégia, políticas, treinamentos, comunicação, política de promoção e aprendizado com experiências antigas. É claro que o comportamento e comprometimento de todos os trabalhadores da organização também contribuem para este clima.

Baseado em Shappel e Wiegmann (2000), o clima organizacional pode ser visto como a “atmosfera” do ambiente de trabalho. Um sinal do clima organizacional é a estrutura, refletida na cadeia de comando, delegação, autoridade e responsabilidade, canais de comunicação e responsabilidade formal pelas ações. Se não houver comunicação entre a administração e a equipe, ou se não se sabe quem está no comando, a segurança da organização está em risco e os acidentes poderão ocorrer (*apud* CORREA e JUNIOR, 2007).

A cultura organizacional, por outro lado, refere-se às regras não oficiais, valores, atitudes, crenças e costumes de uma organização. A cultura representa a forma real de como as coisas funcionam na empresa (SHAPPELL; WIEGMANN, 2000 *apud* CORREA; JUNIOR, 2007).

O termo cultura de segurança é o produto de valores individuais e de grupo: atitudes, percepções, competências e padrões de comportamento que determinam o compromisso com o gerenciamento de segurança e saúde de uma organização (HURST et al, 1996). Uma unidade sem uma boa cultura de segurança provavelmente não possui um bom gerenciamento de segurança.

3.3 Literatura sobre Fatores Humanos e Organizacionais

Antes de novos métodos serem introduzidos na indústria química, existiam apenas métodos qualitativos para fatores gerenciais e humanos. Além disso, poucas avaliações de confiabilidade humana haviam sido estudadas para a indústria

química, principalmente devido à dificuldade de compreender o comportamento humano (MEEL e SEIDER, 2007).

Abu-Khader (2004) analisou o impacto do comportamento humano no gerenciamento da segurança de processo em países desenvolvidos. Porém, teve dificuldades em entender e quantificar este comportamento (*apud* MEEL e SEIDER, 2007).

Muitos estudos vêm sendo desenvolvidos e propostos no sentido de tentar identificar e quantificar os fatores humanos e organizacionais que podem prejudicar a segurança de uma unidade operacional para tentar corrigi-los e agir assim, de forma preventiva, evitar acidentes e incidentes.

O método HORAAM (*Human and Organizational Reliability Analysis in Accident Management)* foi introduzido para quantificar fatores humanos e organizacionais no gerenciamento de acidentes, utilizando árvore de decisões. Neste método, o primeiro passo realizado, através da observação, foi identificar os fatores de influência principais que afetam a confiabilidade dos fatores humanos e organizacionais durante uma simulação de um acidente num centro de simulações. Estes fatores de influência são usados como pontos iniciais para análise através do método da árvore de decisões. Neste estudo, sete especialistas avaliaram a situação acidental para verificar os fatores de influência e também para hierarquizá-los e estimar o valor dos fatores agregados, para simplificar a quantificação da árvore. Estes especialistas são membros do Instituto de Proteção e Segurança Nuclear (IPSN), que normalmente são contratados para auxílio dos operadores de uma unidade durante um acidente. Também foi utilizada uma nova ferramenta matemática, CADDIAQ, para aumentar a flexibilidade e eficiência do estudo (BAUMONT et al, 2000).

Segundo Westfall-Lake (2000), baseado em eventos catastróficos, as pesquisas mostram algumas ameaças comuns em múltiplas indústrias, como fadiga, monotonia, trabalho excessivo e outros fatores culturais e políticas organizacionais.

Westfall-Lake (2000), preocupado com a qualidade do desempenho das tarefas em unidades que operam vinte e quatro horas por dia, sete dias por semana, discutiu

duas estratégias para prevenir erros humanos relacionados com turno de trabalho em plantas químicas. Baseou-se em políticas e guias em nível gerencial e de engenharia para aumentar a segurança vinte e quatro horas e, com a adoção de medidas apropriadas no nível da operação, para prevenir erros humanos. Seu trabalho ficou conhecido como “treinamento contra fadiga”.

Meel e Seider (2007) propuseram uma nova análise quantitativa dos impactos da interação de gerentes e engenheiros com os operadores e com a unidade de processo no estado de falha da planta. Concluíram que a equipe de gerenciamento, engenharia e operadores têm impactos significativos sobre a confiabilidade do processo.

Paté-Cornell et al (1996) propôs o modelo SAM (*System Action- Management* – Gerenciamento das Ações do Sistema), com o objetivo de estender a metodologia de análise probabilística dos riscos para incluir ações humanas e fatores organizacionais.

Este modelo relaciona as probabilidades de falha do sistema com fatores humanos e gerenciais e inclui: primeiro, uma análise probabilística dos riscos do sistema físico; segundo, uma análise das decisões e ações que afetam a probabilidade dos eventos básicos; e terceiro, um estudo dos fatores gerenciais que influenciam estas ações e decisões (ATTWOOD et al, 2006).

Os dados utilizados no trabalho de Paté-Cornell et al (1996) são uma mistura de estatísticas, opiniões de experientes e modelos físicos.

O modelo SAM foi utilizado para descobrir problemas organizacionais e gerenciais que contribuem para uma operação insegura, e também para identificar, avaliar e comparar medidas de gerenciamento, com o objetivo de reduzir o risco da operação. Paté-Cornell et al (1996), através deste estudo, fez algumas considerações, tais como, “melhorias no gerenciamento devem ser cuidadosamente consideradas como medida de gerenciamento de risco e que estas melhorias podem ser mais efetivas do que correções técnicas”; “antes dos gestores apontarem algum problema da operação eles devem se autoavaliar”; “as organizações precisam estar atentas se as metas estabelecidas podem ser atingidas sem atalhos”; “qualquer conflito entre as

políticas da empresa devem ser resolvidas em nível gerencial ou delegadas a pessoas competentes"; "a organização deve possuir um bom canal de comunicação formal e informal"; "o treinamento de emergência é essencial para a segurança"; e "uma supervisão rigorosa pode ajudar a controlar o problema da inexperiência dos trabalhadores".

Com relação a medidas de mitigação de risco de projeto, normalmente os gerentes focam em melhorias de *hardware*. Claro que o *hardware* também deve ser considerado, porém, segundo Paté-Cornell et al (1996), em algumas empresas medidas organizacionais poderiam ser mais custo-efetivas do que melhorias técnicas. Isto porque as pessoas, contrariamente aos *hardwares,* são imprevisíveis e são uma grande fonte de incertezas. Logo, melhorias no gerenciamento devem ser consideradas como medidas de mitigação de risco.

Na maior parte do tempo os operadores ou técnicos reagem de acordo com os seus ambientes de trabalho, ao sistema de incentivo a que eles estão sujeitos e às informações que eles têm disponíveis. O que o gerenciamento geralmente não percebe são as implicações que suas próprias políticas podem ter, ou seja, o que eles estão realmente encorajando ou pedindo aos seus subordinados para fazerem (PATÉ-CORNELL et al, 1996).

Paté-Cornell et al (1996) concluíram que a inclusão da análise das ações humanas e fatores gerenciais na análise probabilística de risco permite a melhoria e acurácia dos resultados da análise. A autora relata que o passo mais difícil do seu trabalho foi a quantificação dos *links* entre os fatores gerenciais que influenciam as ações e decisões. Por fim, conclui também que, ao contrário do que muito se ouve, as pessoas são previsíveis. Porém, o gerenciamento nem sempre conhece o próprio ambiente de trabalho.

Segundo NBR 14280 o ato inseguro é a ação ou omissão que, contrariando preceito de segurança, pode causar ou favorecer a ocorrência de acidente (ABNT, 2001).

Conhecer o ambiente de trabalho pode permitir às gerências conhecer as fraquezas e as falhas da sua organização antes dos eventos indesejados ocorrerem. Analisar os atos inseguros predominantes pode ajudar a prevenir problemas futuros.

Auditorias de falhas latentes podem ser realizadas sem que nenhum incidente tenha ocorrido, como realizado no modelo do queijo suíço.

Reason (2000) desenvolveu o modelo do queijo suíço e introduziu a ideia de que um acidente só ocorre quando as barreiras de segurança falham e, que estas falhas, na maior parte das vezes, estão relacionadas com o gerenciamento delas.

No modelo do queijo suíço, Reason (2000) diz que toda tecnologia perigosa possui camadas de defesas. E cada uma destas camadas ou barreiras são como fatias de queijo suíço com buracos, colocadas lado a lado. Os buracos representam as falhas de cada camada de proteção. Quando estes furos das camadas se alinham, podem resultar num dano ou evento perigoso, como mostrado na Figura 7.

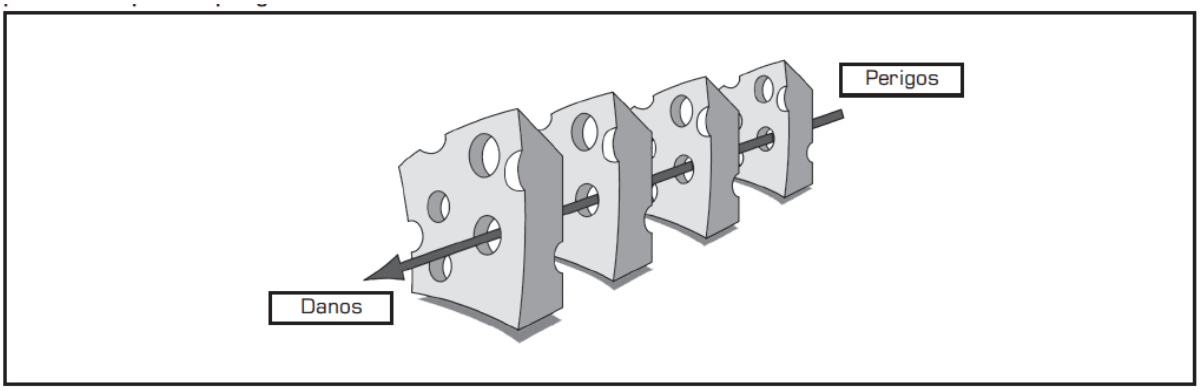

Figura 7 – Modelo do Queijo Suiço, proposto por Reason (2000)

Segundo Reason (2000), os sistemas de alta tecnologia têm muitas camadas de defesa, algumas de engenharia, como alarmes, barreiras físicas, desligamentos automáticos, outras defesas estão nas pessoas (operadores da sala de controle) e ainda algumas outras dependem de procedimentos e controles administrativos. A função de todas elas é a de proteger vítimas potenciais e o patrimônio dos perigos do ambiente.

A eficiência e confiabilidade da barreira de segurança é muito influenciada pela qualidade do seu gerenciamento. As barreiras devem ser propriamente aplicadas, mantidas e melhoradas para atingir seus objetivos. Além do sistema de gerenciamento de segurança efetivo, os trabalhadores também devem ter um claro entendimento de como eles podem interagir com a segurança da unidade (SALVI e DEBRAY, 2006).

Os buracos nas defesas surgem por duas razões: falhas ativas e falhas latentes. As falhas ativas são representadas pelos atos inseguros cometidos pelas pessoas que estão em contato direto com o sistema. As condições latentes 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. As condições latentes podem criar buracos ou fraquezas duradouras nas defesas (alarmes e indicadores não confiáveis, procedimentos não exequíveis, deficiências projetuais e construtivas, dentre outros) (REASON, 2000).

As falhas ativas não podem 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 (REASON, 2000).

Segundo Drogoul (2006), algumas críticas foram feitas ao modelo do queijo suíço, principalmente com relação a informações insuficientes sobre a natureza dos furos no queijo e suas inter-relações e sobre a dificuldade da aplicação do método como ferramenta de investigação de acidentes.

Shappell e Wiegmann (2000) basearam-se na teoria de Reason (1990) e propuseram um modelo para análise e classificação dos erros humanos conforme representado na Figura 8. (*apud* CORREA e JUNIOR, 2007).

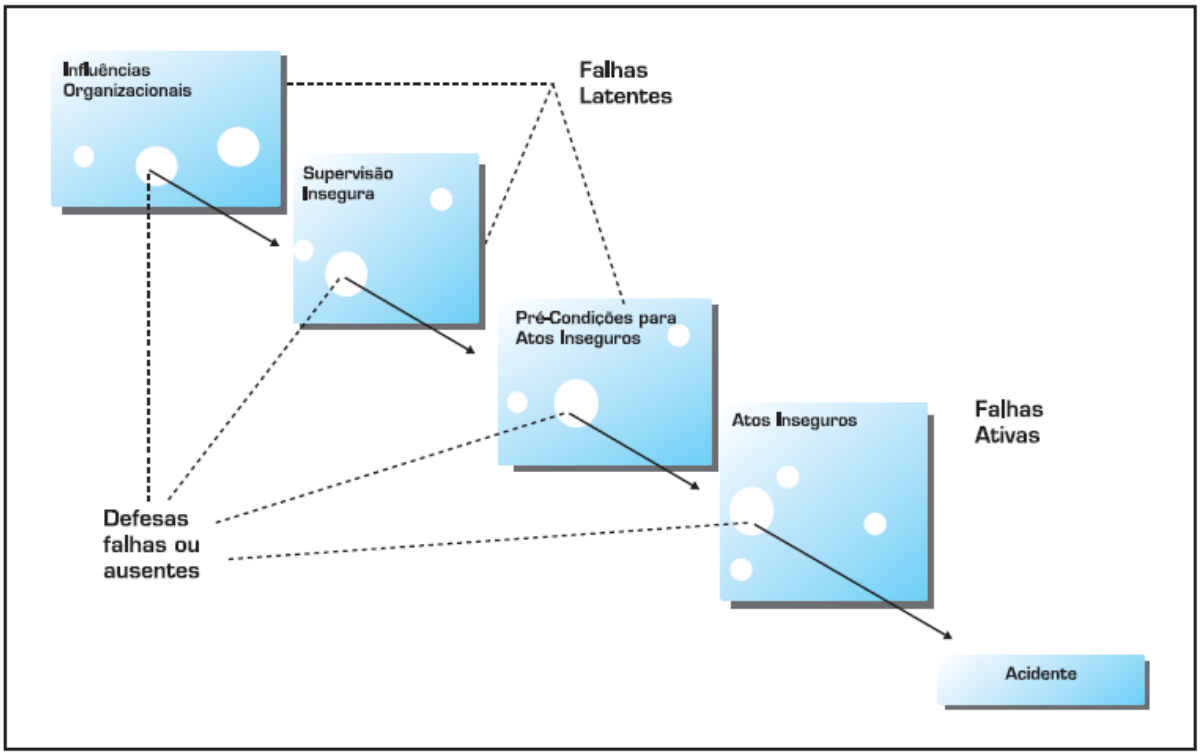

Figura 8 - Modelo do Queijo Suíço de Causas dos Erros Humanos.

Fonte: CORREA e JUNIOR, 2007.

A imensa maioria das análises de acidentes atinge apenas a camada final e prontamente indicam como causa do acidente: “ato inseguro do operário”, sem prosseguir adiante, o que impossibilita a correta investigação do acidente e, pior ainda, inviabiliza a adoção de medidas preventivas (SHAPPELL e WIEGMANN, 2000 *apud* CORREA e JUNIOR, 2007).

O modelo do queijo suíço descrito por James Reason (2000) vem sendo citado com frequência pelos engenheiros para explicar a ocorrência de acidentes. Sua obra defende que as adversidades ocorrem quando uma barreira que deveria evitá-las não funciona (BOSCO, 2008).

Algumas empresas, como a Braskem, vêm implementando uma metodologia de verificação da integridade das barreiras de segurança em seu modelo próprio de auditoria de segurança de processos. A metodologia recebeu o nome de “Garantia de Integridade das Barreiras de Segurança de Processo”. Nesta metodologia, os

riscos e suas barreiras são identificados e, em seguida, são verificados na unidade em operação (BOSCO, 2008).

O objetivo do sistema de gerenciamento de uma planta é garantir que as barreiras estejam operando como especificadas ou requeridas e o objetivo da auditoria é verificar se elas estão atuando como deveriam (GULDENMUND et al, 2006).

Segundo Bosco (2008), os engenheiros passam a entender que não basta identificar se o risco de determinado cenário é alto, médio ou baixo. Mas que, dependendo de como as barreiras que protegem este cenário estejam sendo gerenciadas, esta classificação pode mudar. E que um cenário classificado como baixo ou médio pode ter a sua situação de risco deslocada para alto, quando uma determinada barreira esteja indisponível.

Segundo Correa e Junior (2007) o método TRIPOD, citado a seguir, é uma aplicação clara da teoria do queijo suíço de Reason.

O método TRIPOD foi criado a partir de um programa de pesquisa sobre fatores humanos nas investigações de acidentes na indústria de petróleo. Foi desenvolvido por Reason e Wagenar, na década de 1990, para a investigação de fatores humanos na indústria de petróleo e se transformou em uma teoria sobre acidentes e como eles acontecem. Este método consiste em identificar as fragilidades que contribuem para que um acidente ocorra e expor mecanismos de falhas latentes que propiciariam a sua ocorrência (MIRANDA et al, 2002).

Nas falhas latentes, as consequências adversas podem estar dormentes dentro do sistema por um longo tempo, e se tornam evidentes apenas quando combinadas com outros fatores (por exemplo, treinamento) (GORDON, 1998). Este tipo de falha normalmente é causada por gestores, como já citado anteriormente.

O nome do método tem origem nos três aspectos chaves da causalidade dos acidentes (Figura 9), que formam um tripé (MIRANDA et al, 2002).

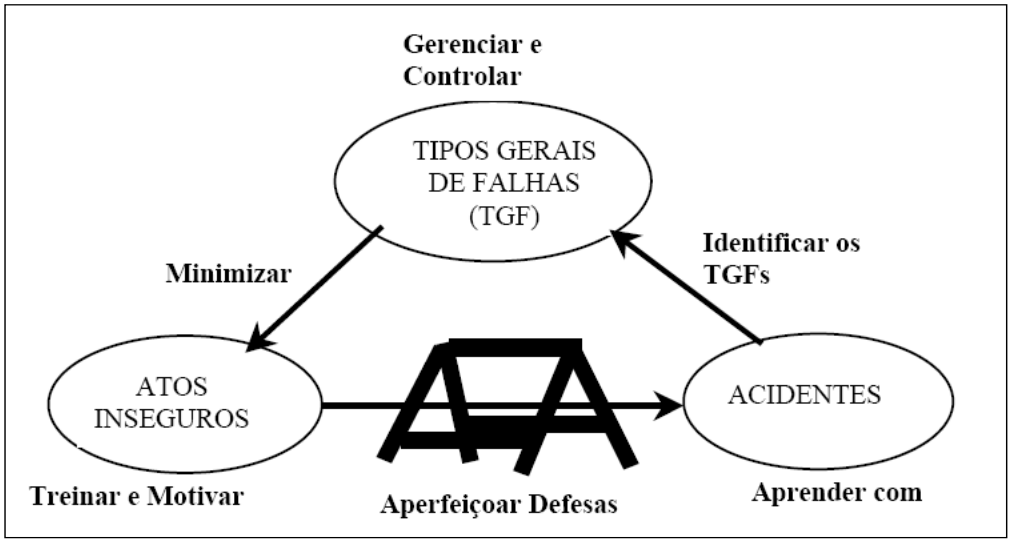

Figura 9 – Visão Geral do TRIPOD.

Fonte: MIRANDA et al, 2002.

Através de estudos sobre a investigação de acidentes em diferentes departamentos e unidades operacionais, Reason (1990) chegou a um conjunto de onze falhas latentes, nomeadas de tipos gerais de falhas (TGF). São elas: *hardware*, projeto, manutenção, procedimentos, condições de reforço de erro, arrumação e limpeza, compatibilidade dos objetivos, organização, comunicação, treinamento e defesas. Estes tipos de falhas devem ser verificados, pois são necessários para a composição de um esquema de segurança aplicável a diversas atividades desenvolvidas nas empresas (*apud* GORDON, 1998).

Os mesmos tipos gerais de falhas são citadas por Groeneweg (1998), porém foram nomeados como fatores de risco básicos (*apud* CORREA e JUNIOR, 2007).

A técnica de análise de acidentes TRIPOD consiste no uso do método da causalidade do evento para a elaboração das árvores de acidentes que auxiliam na determinação das fraquezas e das causas raízes de modo eficiente e rápido, partindo do acidente em direção às decisões passadas (MIRANDA et al, 2002).

As auditorias de falhas latentes podem ocorrer sem que um acidente tenha ocorrido. Um estudo destes foi realizado por um supervisor de perfuração em algumas

plataformas de petróleo do Mar do Norte. O objetivo deste estudo era medir o estado da organização em termos de falhas latentes. Primeiramente, o supervisor identificou os TGFs e desenvolveu uma lista de verificação para cada tipo de falha e os enviou para seis plataformas de petróleo. As listas de verificação foram preenchidas e enviadas de volta ao supervisor. Neste estudo, o treinamento foi apontado como o principal problema e *hardware* e defesas como os menores deles (GORDON, 1998).

Com a adoção do método TRIPOD, a empresa abandonou a ideia de que os acidentes acontecem ao acaso e têm sempre um único culpado, e passam a adotar uma postura de investigação das causas subjacentes dos mesmos. Como consequência, houve uma mudança na avaliação dos acidentes, deixando-se de considerar o fator humano (erro humano) como o único culpado no processo que conduz aos acidentes (MIRANDA et al, 2002).

Alguns autores passam a mudar o foco dos estudos. Segundo Reason (2000), quando um evento adverso ocorre, o importante não é quem cometeu o erro, mas sim como e por que as defesas falharam.

Busca-se uma forma de identificação antecipada de falhas latentes da organização e do sistema, para que se possa agir de forma preventiva, tratando os problemas encontrados, diminuindo assim os impactos negativos na operação da unidade e evitando acidentes/ incidentes.

Nos últimos anos, um grande esforço tem sido realizado para analisar as relações e identificar as ligações mais importantes entre o sistema de gerenciamento e o nível de segurança da instalação. Parte deste esforço tem sido concentrado na identificação destes aspectos do sistema do gerenciamento de segurança, como por exemplo, políticas, procedimentos e controles que podem afetar o nível de segurança da unidade.

O Laboratório de Segurança e Saúde (*Health and Safety Laboratory - HSL*), divisão do HSE[5] (*Health and Safety Executive*), desenvolveu ferramentas práticas de

[5] HSE (Health and Safety Executive) – É a entidade da Grã-Betanha nacional reguladora independente do trabalho relacionado com saúde, segurança e doença.

avaliação da gestão de segurança, como questionários sobre atitudes de segurança do local de trabalho, com o objetivo de incluir falhas humanas e organizacionais bem como falhas dos sistemas de engenharia. Realizaram uma pesquisa específica com quinhentos incidentes de perda de contenção de vasos. Os resultados mostraram que os incidentes poderiam ser evitados pela revisão de fatores humanos. É importante ressaltar que este trabalho também foi utilizado como uma forma de alerta aos gerentes da unidade (HURST, 1997).

A prática desta ferramenta de avaliação da gestão de segurança foi desenvolvida pela Divisão de Operação de Campo (*Field Operation Division* – FOD), e ficou conhecida como STATAS (*Structured Audit Techinique for the Assessment of Safety management systems*). O STATAS fornece uma avaliação dos mecanismos de gestão, dos sistemas de controle de riscos e uma avaliação da cultura de segurança da unidade (HURST, 1997).

Um outro estudo também liderado pelo Laborátório de Segurança e Saúde (HSL) em parceria com a Unidade de Pesquisa de Segurança (*Safety Research Unit* - SRU) da Universidade de Liverpool foi desenvolvido com bases teóricas, incluindo a análise de falhas de unidades de grande perigo, um questionário específico de atitudes de segurança em plantas químicas e de grande perigo (SAQ – *Safety Attitude survey Questionnarie*) (HURST, 1997). O SAQ foi projetado com o objetivo de quantificar as atitudes de segurança nas plantas químicas e de grande perigo. Porém, segundo Hurst (1997) algum trabalho ainda precisa ser dedicado para transformar esta ferramenta de pesquisa numa ferramenta prática para ser utilizada na operação.

Com o objetivo de desenvolver *links* entre as normas de gerenciamento de segurança e níveis de risco estimados nas unidades de grandes perigos, um sistema de auditoria chamado PRIMA *(Process Risk Management Audit),* foi usado em conjunto com o SAQ e aplicado em sete unidades de grande perigo, em quatro países da Europa (HURST, 1997).

A ferramenta PRIMA foi desenvolvida em 1993 e consiste num questionário de avaliação de atitudes de segurança e avaliação do sistema de gerenciamento de segurança de processo. A ferramenta fornece uma medida quantitativa de atitudes

de segurança e do desempenho do gerenciamento de segurança do processo (HURST et al, 1996).

A estrutura do trabalho PRIMA foi baseada em coleta de informações sobre crenças e atitudes de segurança e desempenho do sistema de gerenciamento do processo de segurança. Para isto, uma auditoria foi realizada para a verificação quantitativa do desempenho do sistema de gerenciamento de segurança de processo. Pessoas de diferentes níveis de conhecimento da organização participaram da auditoria e produziram recomendações úteis para as autoridades da planta. As oito áreas auditadas foram: revisão do projeto, revisão dos fatores humanos e manutenção, verificação das atividades de manutenção, rotina de inspeção e manutenção, revisão dos fatores humanos das operações, verificação da instalação, verificação dos perigos da operação e verificação das operações. A partir destes dados, pôde-se calcular um fator de modificação da análise quantitativa de risco da unidade. Foi observada uma forte correlação entre a taxa de acidentes reportadas pela unidade e os fatores de modificação. Ou seja, quanto menor o fator de modificação, menor a taxa de acidentes (HURST et al, 1996).

Em paralelo, um questionário de atitude de segurança foi desenvolvido e aplicado. O questinário foi aplicado em seis unidades diferentes. No questionário os participantes davam uma nota de 1 a 7, sendo que 1 significava que estavam muito de acordo e 7 muito em desacordo. Desta forma, obtiveram-se medidas quantitativas das crenças e atitudes de segurança e do desempenho do sistema de gerenciamento de segurança do processo. A atitude de segurança foi expressa com uma pontuação em escala de atitude: positiva ou negativa. Esta escala de atitude reflete a cultura de segurança nas unidades e identifica os pontos fortes e fracos da organização em termos de segurança (HURST et al, 1996).

O ARAMIS (*Accidental Risk Assessment Methodology for Industries in the framework of Seveso II Directive*) foi desenvolvido através de uma parceria entre organizações de diferentes Estados da União Europeia, entre Janeiro de 2002 e Dezembro de 2004, com o objetivo de construir uma nova metodologia de avaliação dos riscos para as indústrias em geral. Um dos interesses da metodologia ARAMIS é fornecer ferramentas para avaliar o sistema de gestão de segurança e a cultura de segurança

da unidade industrial, para ajudar os operadores a melhorarem seus programas de gerenciamento de segurança e para conhecimento das autoridades competentes (SALVI e DEBRAY, 2006).

Parte da metodologia ARAMIS consistia na elaboração de um protocolo de auditoria focado nas atividades relacionadas com o ciclo de vida das barreiras de segurança. Este ciclo de vida inclui o projeto, instalação, utilização e manutenção das barreiras. Para cada barreira, dez elementos estruturais de gerenciamento de segurança são avaliados. Baseado no conceito das normas IEC 61508–61511, para cada barreira é fornecido um nível de confiança anexado a sua probabilidade de falha em demanda, conforme indica a Tabela 2.

Tabela 2 - Definição de Nível de Confiança das Barreiras de Segurança do Projeto ARAMIS

Fonte: SALVI e DEBRAY, 2006.

Nível de Confiança da Barreira	Probabilidade de Falha em Demanda Equivalente
4	$10^{-4} \rightarrow 10^{-5}$
3	$10^{-3} \rightarrow 10^{-4}$
2	$10^{-2} \rightarrow 10^{-3}$
1	$10^{-1} \rightarrow 10^{-2}$

Estes resultados são, então, comparados aos resultados de um questionário de clima de segurança (contendo onze fatores culturais que caracterizam a cultura de segurança de uma empresa) realizado com os funcionários, representando as barreiras comportamentais (SALVI e DEBRAY, 2006).

Durante os estudos de caso da metodologia ARAMIS, no que diz respeito à verificação do sistema de gerenciamento da unidade industrial, a opinião dos operadores é que esta auditoria foi útil, mesmo requerendo muito esforço na seleção das barreiras (SALVI e DEBRAY, 2006).

De acordo com Salvi e Debray (2006), algumas dificuldades foram encontradas no modelo ARAMIS, como a obtenção de dados confiáveis para o cálculo da probabilidade dos acidentes e a quantificação da influência do gerenciamento dessa probabilidade. Segundo os autores estes pontos ainda precisam ser mais estudados.

Alguns métodos ou modelos foram desenvolvidos para a incorporação de fatores organizacionais em análise quantitativa de risco, como Manager, MACHINE, WPAM, SAM, I-RISK e ARAMIS (AVEN et al, 2006).

Embrey (1992) apresenta um modelo chamado “MACHINE” (*Model of Accident Causation using Hierarchical Influence Network*), em que afirma que as causas diretas dos acidentes são uma combinação de erros humanos, falhas de equipamentos e eventos externos ao sistema (característicos do meio ambiente no qual o sistema opera, como terremotos, neve, etc). O método tenta aplicar os conceitos da avaliação probabilística, incorporando fatores de gerenciamento e organizacionais.

O projeto BORA (*Barrier- and Operational Risk Analysis*) adaptou as ideias destes projetos (Manager, MACHINE, WPAM, SAM, I-RISK e ARAMIS) para a indústria offshore. O projeto BORA tem como objetivo incorporar fatores humanos e organizacionais na análise de risco quantitativa. Um dos passos deste projeto é calcular o risco específico da instalação, incorporando os efeitos dos sistemas técnicos, condições técnicas, fatores humanos e organizacionais e condições de operação (AVEN et al, 2006).

Neste projeto primeiramente realiza-se o desenvolvimento do modelo de risco, incluindo alguns requisitos humanos e fatores operacionais. Atribui-se as probabilidades/ frequências médias da indústria, desenvolve-se o diagrama de influências, com o objetivo de identificar os seis fatores mais importantes que influenciam o evento iniciador ou evento básico e nesta etapa a participação do pessoal da operação é muito importante. O último passo deste projeto consiste na pontuação dos fatores de influência (AVEN et al, 2006).

Desta forma, a análise permite o estudo dos efeitos humanos e fatores organizacionais para fornecer aos gerentes um suporte de decisão, já que a análise de risco permite a identificação dos fatores críticos.

De acordo com Aven et al (2006), um desafio deste projeto foi desenvolver uma tabela de pontuação adequada para todos os fatores de influência de risco. Ainda

sobre a pontuação dos fatores de influência, Aven et al (2006) citam que vêm discutindo o uso dos questionários para a pontuação dos fatores de influência.

Em 2003, o Ministério Holandês dos Assuntos Sociais e do Emprego anunciou um programa de subsídio para intervenções em empresas para melhorar a segurança delas, concentrando-se particularmente em alterações organizacionais ou fatores gerenciais, com o objetivo de reduzir de 10 a 15% os acidentes em um ano. Dezessete empresas foram analisadas, em diversos setores da indústria, como por exemplo a indústria da construção, fabricação de veículos e indústria siderúrgica (HALE et al, 2010).

Algumas das intervenções aplicadas foram melhorias dos procedimentos de relato de incidentes/acidentes e acompanhamento das ações; inclusão de uma rotina de inspeções e auditorias; melhoria do procedimento de análise e discussão da Análise Preliminar de Perigos (APP) com os trabalhadores; uso de questionários formais para verificar e avaliar atitudes dos profissionais; modificação do local de trabalho, como os métodos de trabalho e criação de campanhas de arrumação e limpeza; fornecimento de treinamentos e *workshops* para diretores, gerentes, força de trabalho; incentivo e encorajamento para o relato de incidentes/acidentes e situações perigosas, entre outros (HALE et al, 2010).

A taxa de sucesso destes dezessete projetos foi um pouco menor que 50%, indicando como é difícil produzir alterações culturais e organizacionais. Os resultados enfatizaram a importância da participação da alta gerência e dos profissionais de segurança.

A importância do suporte da alta gerência para o sucesso do desempenho de segurança e alterações é destacada como fator de sucesso na aplicação da metodologia, assim como a participação ativa, persistente e criativa do profissional de segurança das empresas (HALE et al, 2010).

Hale et al (2010) enfatizam também a importância do diálogo entre a força de trabalho e a gerência como o fator mais essencial para garantir o aprendizado e mudanças da organização.

É comum as empresas fornecerem treinamentos à alta gerência, e não aos gerentes de linha. Hale et al (2010) constataram, pelos resultados do trabalho, que as empresas de sucesso destacam-se por fornecerem treinamentos também aos gerentes de linha.

O estudo dos fatores humanos pode ser utilizado para treinamento do pessoal, dos supervisores e gerentes, como um meio de melhorar as suas atuações, de forma que eles estejam atentos a estes fatores no dia a dia da operação. Sem um bom clima de segurança organizacional, em que todos contribuam, é inconcebível que qualquer organização tenha um ambiente de trabalho seguro.

O Programa Atuação Responsável, marca registrada da Abiquim (Associação Brasileira da Indústria Química), é uma iniciativa da indústria química brasileira e mundial destinada a demonstrar seu comprometimento voluntário na melhoria contínua de seu desempenho em saúde, segurança e meio ambiente. O Sistema de Gestão do Programa Atuação Responsável visa aperfeiçoar as ações das indústrias químicas nas questões relativas à saúde, segurança e meio ambiente, observando as recomendações do ICCA (*Internacional Council of Chemical Associations*). O Programa, lançado no Canadá em 1985, foi introduzido no Brasil pela Abiquim há 20 anos (ABIQUIM, 2012).

Qualquer organização, independente dos requisitos de sua linha de produtos ou serviços ou base de clientes, deve atingir três metas: qualidade, conformidade e confiança. A organização deve conhecer o que é qualidade para seus clientes e alcança-la, de uma forma que esteja em conformidade com os requisitos impostos pelos órgãos normativos ou clientes ou pela própria organização, e finalmente, deve fornecer confiabilidade aos colaboradores, clientes, acionistas e comunidade de que irá atingir as outras duas metas (VERDE, 2012). As auditorias externas e internas de segurança são uma forma de verificação da qualidade da gestão de segurança de uma organização e podem levar a um processo de melhoria contínua.

3.4 Verificação dos Fatores Humanos e Organizacionais dos Sistemas Instrumentados de Segurança

Schönbeck (2007) revisou modelos e teorias relacionados com fatores humanos e organizacionais para adaptá-los e criar algo novo. O autor na sua dissertação de mestrado propôs considerar os impactos dos fatores humanos e organizacionais nos sistemas instrumentados de segurança.

O modelo do queijo suíço é altamente relevante para a fase de operação dos sistemas instrumentados de segurança, pois visualiza a influência dos fatores humanos e organizacionais no desempenho das barreiras de segurança (neste caso, os sistemas instrumentados de segurança) (SCHÖNBECK, 2007).

Outro modelo particularmente interessante para a fase operacional dos sistemas instrumentados de segurança é o ARAMIS, pois está diretamente relacionado com a confiabilidade das barreiras (SCHÖNBECK, 2007).

O trabalho desenvolvido pela Braskem (BOSCO, 2008), de verificação da integridade das barreiras de segurança na unidade em operação, para garantir a integridade das barreiras de segurança de processo, é bem similar à metodologia prática proposta por Schönbeck (2007).

Schönbeck (2007) baseou-se nos onze tipos gerais de falhas de Reason (1990), relacionou-os com os processos do ciclo de vida e reduziu os tipos de falha a oito e os reformulou levemente para refletir os fatores humanos e organizacionais na fase de operação dos sistemas instrumentados de segurança. Defesa, *hardware* e projeto foram eliminados. Os oito tipos restantes foram renomeados como Fatores de Influência de Segurança e estão listados na Tabela 3.

Tabela 3 - Fatores de Influência de Segurança na fase operacional dos sistemas instrumentados de segurança

Fonte: (SCHÖNBECK, 2007).

Fatores de Influência de Segurança
1. Manutenção
2. Procedimentos
3. Condição de Reforço de Erro
4. Arrumação e Limpeza
5. Compatibilidade dos Objetivos
6. Comunicação
7. Organização
8. Treinamento

Alguns dos fatores estabelecidos por Schönbeck (2007) foram identificados também por outros autores como pontos em que foram observadas necessidades de melhorias, ou como pontos a serem auditados por serem considerados itens relevantes para a segurança, como por exemplo: comunicação, citado por Gordon (1998); treinamento, comunicação, citados por Paté-Cornell et al (1996); manutenção, citado por Hurst et al (1996) no projeto PRIMA; procedimentos, arrumação e limpeza, treinamentos, comunicação, citados por Hale et al (2010) no programa de subsídio para intervenções em empresas holandesas.

O próximo passo do modelo proposto por Schönbeck (2007) é estabelecer uma relação entre os fatores de influência de segurança e o SIL obtido no projeto. O autor baseou-se no procedimento ARAMIS, com algumas diferenças, como:

- Nesta abordagem o autor considera fatores humanos e organizacionais, enquanto que o ARAMIS considera apenas fatores organizacionais;
- Abordagem desenvolvida especificamente para os sistemas instrumentados de segurança, que elimina a necessidade de distinção entre os diferentes tipos de barreiras.

Uma característica deste modelo similar ao modelo ARAMIS é a ligação entre os fatores de influência de segurança e o SIL obtido por fatores de peso. Na aplicação prática, isto representa uma vantagem considerável, pois reduz o esforço de coletar dados (SCHÖNBECK, 2007).

O SIL obtido no projeto será, nesta abordagem, denominado SIL de projeto. O autor propõe o cálculo do SIL durante a fase de operação, chamado de SIL operacional, que pode ser inferior ao SIL de projeto, devido aos fatores humanos e organizacionais na fase de operação dos SIS (SCHÖNBECK, 2007).

A Figura 10 mostra os passos da abordagem proposta por Schönbeck (2007), que se inicia com o SIL de projeto. O primeiro passo é estimar a proporção do SIL de projeto, que pode ser explicada por fatores humanos e organizacionais. Alguns SIS são mais sensíveis aos fatores humanos e organizacionais do que outros. Esta proporção será denotada por θ, que poderá ser estimada usando o julgamento de especialistas, ou pode ser baseada em experiência com sistemas similares.

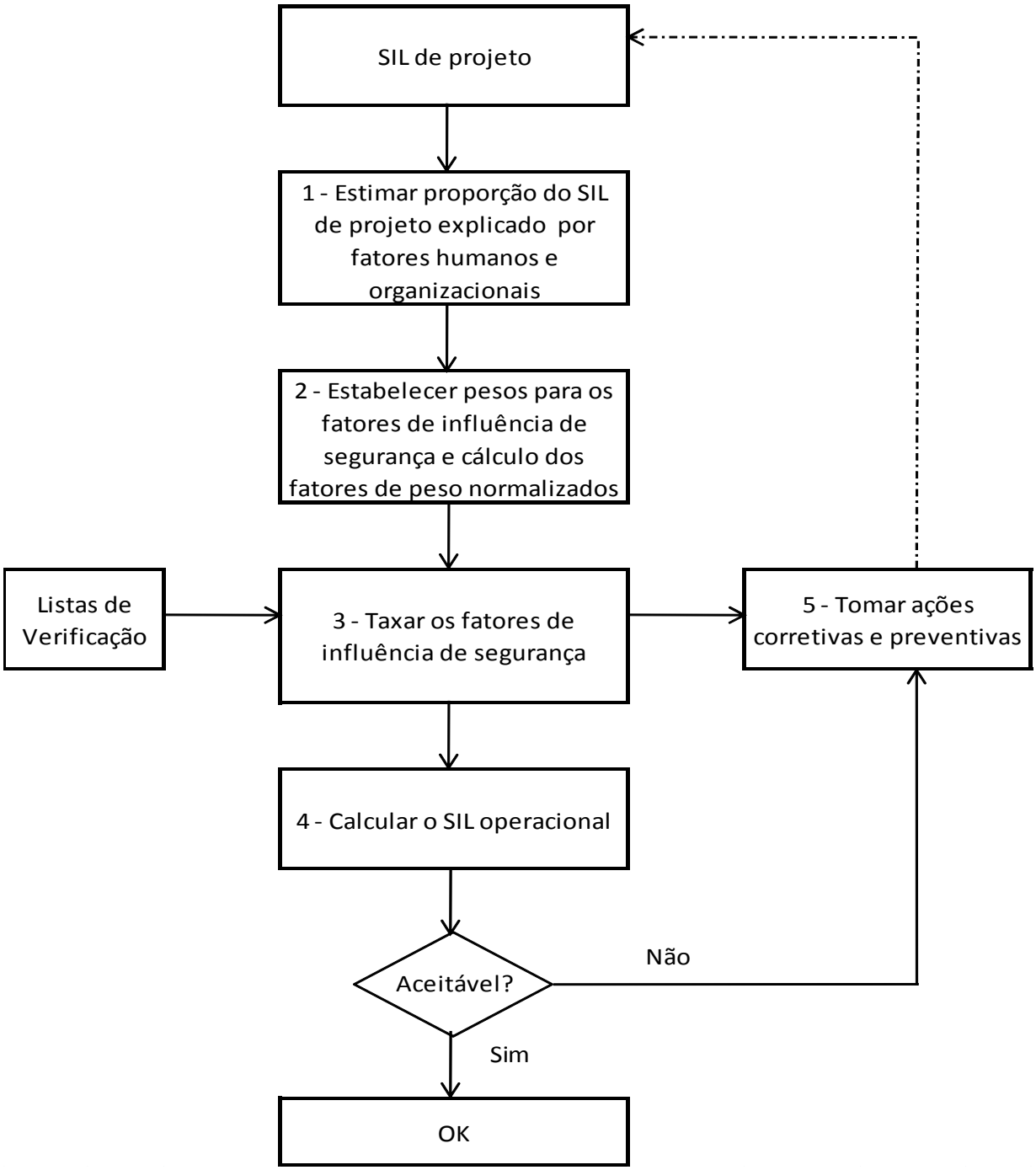

Figura 10 – Passos da metodologia proposta por SCHÖNBECK (2007)

No segundo passo, para cada fator de influência de segurança da Tabela 3, denotado por i, será estabelecido um peso relativo $\widetilde{W}\imath$, ($\widetilde{W}\imath \geq 0$ para todo $i = 1, 2, \ldots, 8$). Este peso relativo pode ser estabelecido como parte da auditoria de

segurança, tornando-os específicos para o sistema ou unidade em consideração, ou podem ser determinados para o domínio de aplicação (ex.: *offshore*) usando o julgamento de especialistas (SCHÖNBECK, 2007).

Após estabelecido o peso relativo a cada fator de influência, estes pesos são normalizados através de (SCHÖNBECK, 2007):

$$Wi = \frac{\widetilde{Wi}}{\sum_{i=1}^{8} \widetilde{Wi}} \tag{3.1}$$

O terceiro passo é taxar os fatores de influência de segurança através de listas de verificação e questionários, questões de preferência com respostas “sim” e “não, realizadas numa auditoria. Cada fator de influência de segurança é taxado numa escala de 0 a 1, sendo que zero indica que melhorias são desnecessárias e um indica o oposto, que melhorias são requeridas. Em seguida, o número de questões respondidas que causam preocupação são divididas pelo número total de questões, esta fração é subtraída de 1, chegando assim a uma taxa Ri para os fatores de influência de segurança i (SCHÖNBECK, 2007).

Como pôde se verificar neste capítulo, muitos autores utilizaram em seus estudos listas de verificação como indicadores em seus modelos, como por exemplo no método TRIPOD para a identificação dos tipos gerais de falha do sistema, citado por Gordon (1998); na pesquisa realizada pelo Laborátório de Segurança e Saúde (HSL) sobre atitudes de segurança do local de trabalho, na pesquisa realizada pelo Laborátório de Segurança e Saúde (HSL) em parceria com a Unidade de Pesquisa de Segurança (SRU) para a análise de falhas de unidades de grande perigo (conhecido como SAQ), citado por Hurst (1997), a ferramenta PRIMA, para a avaliação de atitudes de segurança e avaliação do sistema de gerenciamento de segurança de processo, citado por Hurst et al (1996).

Parte da metodologia ARAMIS consistia na elaboração de um protocolo de auditoria focado nas atividades das barreiras de segurança. A cada barreira de segurança é fornecido um nível de confiança anexado a sua probabilidade de falha em demanda. Estes resultados são então comparados aos resultados de um questionário de clima de segurança (contendo onze fatores culturais que caracterizam a cultura de

segurança da empresa), realizado com os funcionários, para obter maior confiabilidade dos resultados obtidos (SALVI e DEBRAY, 2006).

O quarto passo é o cálculo do SIL operacional, através de (SCHÖNBECK, 2007):

$$SIL\ operacional = (1 - \theta \sum_{i=1}^{8} Ri\ Wi)\ SIL\ projeto \quad (3.2)$$

Onde:

- θ é a proporção de projeto que pode ser explicada por fatores humanos e organizacionais $(0 \leq \theta \leq 1)$;
- Ri é a taxa do fator de influência de segurança i $(0 \leq Ri \leq 1\ para\ todo\ i)$;
- Wi é o fator de peso para os fatores de influência de segurança i $(0 \leq Wi \leq 1\ para\ todo\ i)$.

Da Eq. (3.2) busca-se sempre uma aproximação a um valor inteiro, uma vez que o SIL de uma função instrumentação de segurança é expresso por números inteiros (1 a 4) (SCHÖNBECK, 2007).

O passo cinco fornece um guia para as ações corretivas e preventivas. Os fatores de influência de segurança com a maior taxa $(RiWi)$ contribuem mais para a diferença entre o SIL de projeto e o SIL operacional, logo requerem maior atenção (SCHÖNBECK, 2007).

O autor indica que na próxima auditoria realizada na unidade as questões devem ser alteradas para que diferentes itens sejam verificados e não ter repetição de resultados, conforme também indica o método TRIPOD (SCHÖNBECK, 2007).

Quando um fator de influência precisar de melhoria, deve-se então realizar as ações corretivas sugeridas na auditoria realizada e voltar novamente ao passo 3 (SCHÖNBECK, 2007).

Schönbeck (2007) realizou um estudo de caso ilustrativo. Trabalhou com um sistema instrumentado de segurança SIL 3, estimou um valor de 0,5 para θ, derivado da investigação de incidentes da indústria de processo.

Baseado no fato de não encontrar outra evidência que apontasse o contrário, Schönbeck (2007) estipulou que todos os fatores de influência de segurança possuíam o mesmo grau de importância, após normalizadas todas eles ficaram iguais a 0,125, ou seja, $Wi = 0{,}125$.

As taxas Ri foram obtidas das auditorias realizadas e, usando a Eq. (3.2), o autor obteve um valor de SIL operacional de 2,6, que foi aproximado para 3. No estudo de caso, apesar do autor encontrar o mesmo valor para o SIL de projeto e o SIL operacional, ações preventivas foram sugeridas, para evitar que este SIL operacional caísse para 2, já que foi realizada uma aproximação a um valor inteiro e alguns problemas foram verificados. Dos resultados, o autor encontrou que dos fatores de influência verificados, compatibilidade dos objetivos e treinamento obtiveram a maior taxa, logo precisariam de maior atenção.

Esta abordagem apresentada não foi aplicada na prática por Schönbeck (2007), portanto, o objetivo deste trabalho será aplicar essa metodologia numa unidade operacional de GNL.

Capítulo 4 – Gás Natural Liquefeito (GNL)

4.1 Introdução

O Processo de liquefação é um processo termodinâmico que consiste na passagem de um gás para o estado líquido. É importante destacar que alguns gases, como o gás natural, não alteram seu estado apenas com o aumento de pressão, é necessário também o resfriamento.

A liquefação, devido à redução de volume ocupado pelo gás, permite o armazenamento e transporte de quantidade de produto bem superior, comparado ao gás. No caso do GNL, este volume se reduz em 600 vezes com relação ao gás natural.

O GNL pode ser utilizado como combustível para gerar calor, eletricidade e força para indústrias de diversos segmentos, mas ele é principalmente produzido para transportar o gás natural para locais mais afastados, onde o gasoduto torna-se economicamente inviável.

O GNL possui alto poder calorífico e velocidade rápida de combustão; é uma alternativa energética que possui menor impacto ambiental, já que possui combustão limpa e baixa emissão de poluentes; possui preços competitivos em relação a outros tipos de combustíveis como GLP, diesel, óleo combustível, álcool e gasolina (GNL, 2011).

O GNL exige um elevado investimento, que compensa apenas quando os gasodutos não são tecnicamente viáveis (travessias ou mares profundos), ou onde as distâncias dos gasodutos são muito extensas, de forma que estes tornam-se inviáveis economicamente. Além disso, as perdas do gás durante o processo do GNL é superior (10 a 15% do gás) às perdas por transporte através de gasodutos (1 a 2% de perda do gás) (GAS, 2011).

4.1.1 Caracterização do Produto Químico: Gás Natural Liquefeito

O gás natural liquefeito (GNL), também conhecido como metano, ou líquido refrigerado com alto teor de metano, como o próprio nome já diz, é um gás liquefeito, incolor e inodoro.

As propriedades do GNL variam de acordo com a sua composição, que dependem da geologia de onde foi obtido o gás de origem. Logo, a composição do gás natural é variável nos países, nos estados, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Composição do gás natural bruto em diferentes países

Fonte: GAS, 2011.

ORIGEM	COMPOSIÇÃO EM % VOLUME						Densidade	Poder Calorífico Superior (MJ/Nm^2)
País/ Campo	Metano	Etano	Propano	C4 e Maiores	CO2	N2		
USA/Panh.	81,8	5,6	3,4	2,2	0,1	6,9	-	42,7
USA/Ashlaw	75,0	24,0	-	-	-	1,0	-	46,7
Canadá	88,5	4,3	1,8	1,8	0,6	2,6	-	43,4
Rússia	97,8	0,5	0,2	0,1	0,1	1,3	-	39,6
Austrália	76,0	4,0	1,0	1,0	16,0	2,0	-	35,0
França	69,2	3,3	1,0	1,1	9,6	0,6	-	36,8
Alemanha	74,0	0,6	-	-	17,8	7,5	-	29,9
Holanda	81,2	2,9	0,4	0,2	0,9	14,4	0,640	31,4
Pérsia	66,0	14,0	10,5	7,0	1,5	1,0	0,870	52,3
Mar do Norte	94,7	3,0	0,5	0,4	0,1	1,3	0,590	38,6
Argélia	76,0	8,0	3,3	4,4	1,9	8,4	-	46,2
Venezuela	78,1	9,9	5,5	4,9	0,4	1,2	0,702	47,7
Argentina	95,0	4,0	-	-	-	1,0	0,578	40,7
Bolívia	90,8	6,1	1,2	0,0	0,5	1,5	0,607	38,8
Chile	90,0	6,6	2,1	0,8	-	-	0,640	45,2
Brasil								
Rio de Janeiro	89,4	6,7	2,3	0,5	0,3	0,8	0,623	40,2
Bahia	88,6	9,2	0,4	-	0,7	1,2	0,615	39,3
Alagoas	76,9	10,1	5,8	1,7	1,2	2,0	-	47,7
Rio Grande do Norte	83,5	11,0	0,4	-	2,0	3,2	0,644	38,5
Espírito Santo	84,8	8,9	3,0	0,9	0,3	1,6	0,664	45,4
Ceará	76,1	8,0	7,0	4,3	1,1	1,5	-	52,4

Conforme observado na Tabela 4, o GNL é composto principalmente pelo metano, e pode conter, em concentrações variáveis, os seguintes contaminantes: etano, propano, butano, nitrogênio e dióxido de carbono, entre outros.

O GNL é inflamável, pode causar misturas explosivas com o ar e em concentrações moderadas pode causar dor de cabeça, sonolência, vertigem, excitação, excesso de salivação, vômito e inconsciência, por sufocamento. Em contato com a pele, o líquido pode causar queimaduras por congelamento. (WHITE, 2004).

4.1.2 Descrição de Processo de uma Unidade de Liquefação do Gás Natural

Existem principalmente dois tipos de plantas de GNL: as plantas de nivelamento de demanda (*peak-shaving)* e as de grande capacidade (*base-load)*. As de nivelamento de demanda são de menor capacidade (até 100.000t/ano) e são instaladas para atender picos de demanda do cliente. Contam, tipicamente, com uma unidade de liquefação, geralmente pequena, estocagem de GNL e planta de regaseificação (PERTUSIER, 2003).

A Figura 11 descreve as principais etapas de uma planta do tipo nivelamento de demanda *(peak-shaving).*

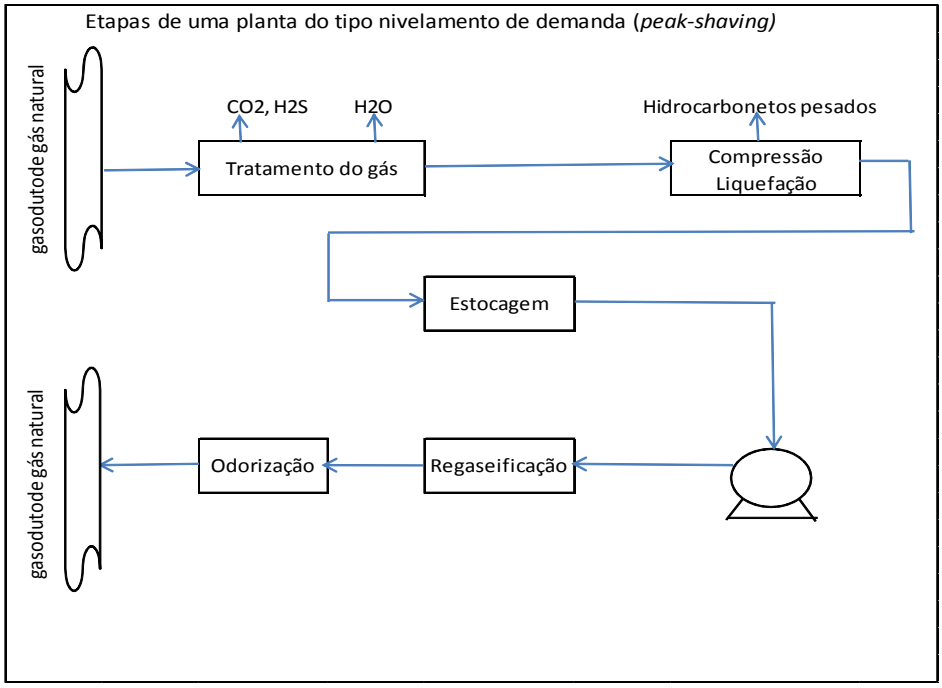

Figura 11 - Etapas de uma planta do tipo nivelamento de demanda (*peak-shaving.)*

Fonte: KIDNAY e PARRISH, 2006.

As unidades de GNL que contêm apenas estocagem e planta de regaseificação são chamadas de “unidades satélites”. E as unidades de liquefação nas plantas de GNL são chamadas de “trens” (KIDNAY e PARRISH, 2006).

As plantas de grande capacidade, como o próprio nome já diz, são de maior escala, produzem GNL visando a comercialização em grandes volumes. Possuem normalmente uma capacidade de produção acima de 2 MTPA (milhões de toneladas por ano) de GNL. A maior parte da produção mundial de gás natural vem deste tipo de planta. Estas plantas são dispostas para produzir gás natural das reservas disponíveis do poço (RONCEROS, 2008).

As etapas envolvidas deste tipo de planta vão desde a produção do gás e seu processamento, passando pelo processo de liquefação, estocagem, transporte até o cliente, e por fim as unidades de recebimento de GNL, que incluem descarregamento, estocagem, regaseificação e distribuição do gás, conforme representado na Figura 12 (KIDNAY e PARRISH, 2006).

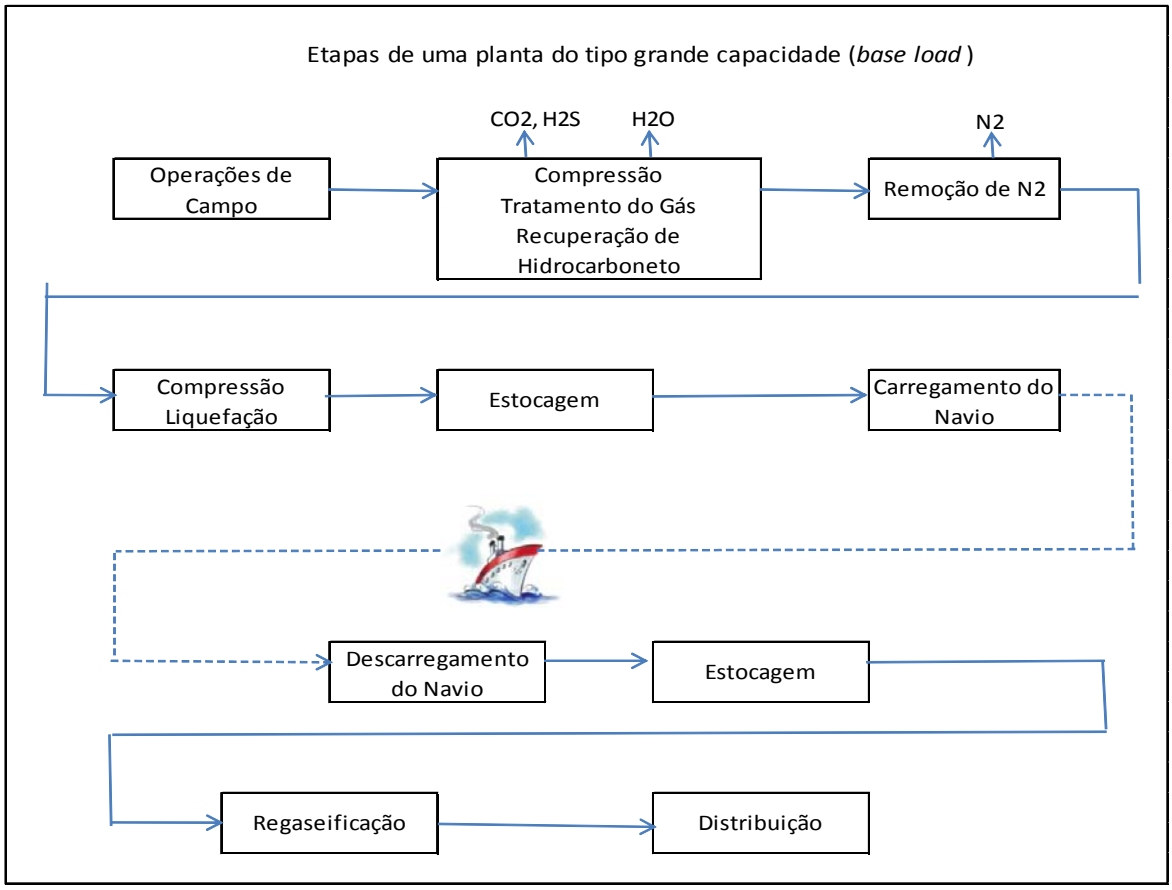

Figura 12- Etapas de uma planta do tipo grande capacidade (*base-load).*

Fonte: KIDNAY e PARRISH, 2006.

A primeira planta do tipo nivelamento de demanda foi construída em 1939 no oeste da Virgínia, EUA. Hoje em dia quase não existem plantas novas deste tipo. A primeira planta do tipo grande capacidade foi posta em operação em 1964 na Argélia (HÄRING, 2008).

A primeira planta de Liquefação de Gás Natural do Brasil foi inaugurada em agosto de 2006 e está localizada em Paulínia (SP), tendo capacidade de liquefazer 380 mil m³/dia.

A Figura 13 representa um diagrama simples das etapas principais de uma unidade de liquefação do gás natural.

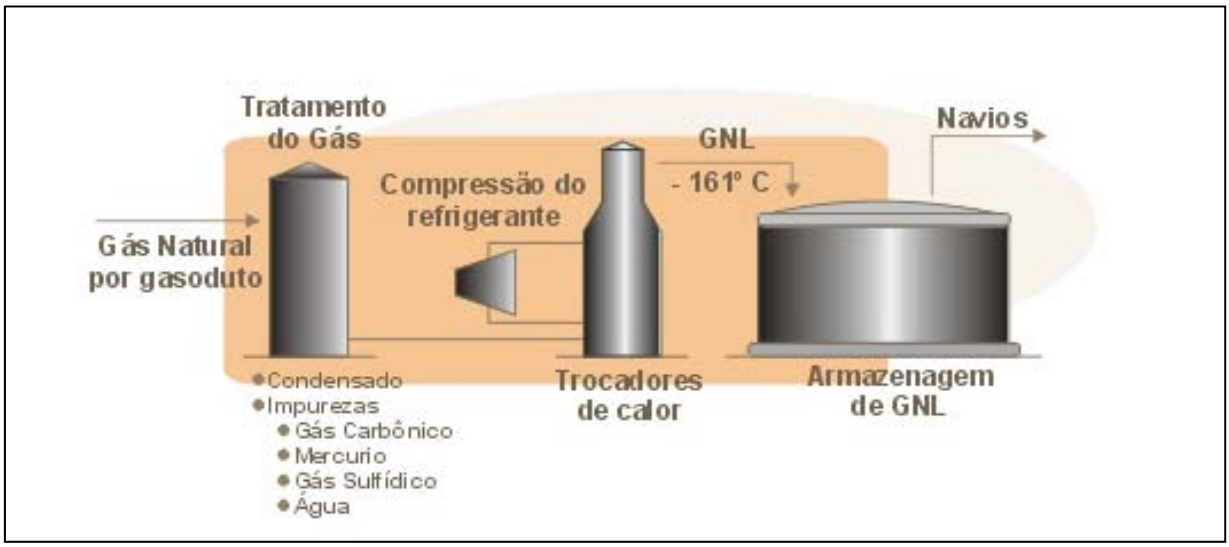

Figura 13 – Unidade de Liquefação do Gás Natural

Fonte: DANTAS, 2011.

A unidade de tratamento destina-se a remover as impurezas existentes no gás vindo dos campos, como gás carbônico, enxofre, nitrogênio, mercúrio e água, além do condensado. O motivo da remoção destes componentes, exceto para o mercúrio, o nitrogênio e a água, é evitar o entupimento dos trocadores de calor, pela deposição destes sólidos. O nitrogênio é um diluente que em altas concentrações pode aumentar o potencial para estratificações. Já o mercúrio condensa em trocadores de calor criogênicos e forma um amálgama com o alumínio e pode danificar os trocadores (KIDNAY e PARRISH, 2006), enquanto a água é removida para evitar que se congele no processo de liquefação (RONCEROS, 2008).

A unidade de liquefação usa uma mistura de gás refrigerante nos trocadores de calor para liquefazer o gás de alimentação já tratado e produzir o GNL. O gás natural é comprimido e enviado através de trocadores de calor, onde é resfriado à temperatura de -161ºC, como o metano é o principal constituinte do gás natural, deve ser resfriado para se tornar líquido (KIDNAY e PARRISH, 2006).

O gás natural liquefeito é a seguir armazenado em tanques capazes de mantê-lo a -161º C até o embarque em navios ou transporte em carretas criogênicas para

atendimento do mercado. O tanque de estocagem de GNL trabalha a uma pressão ligeiramente superior à pressão atmosférica.

A Figura 14 representa um diagrama de blocos simplificado de um sistema de regaseificação.

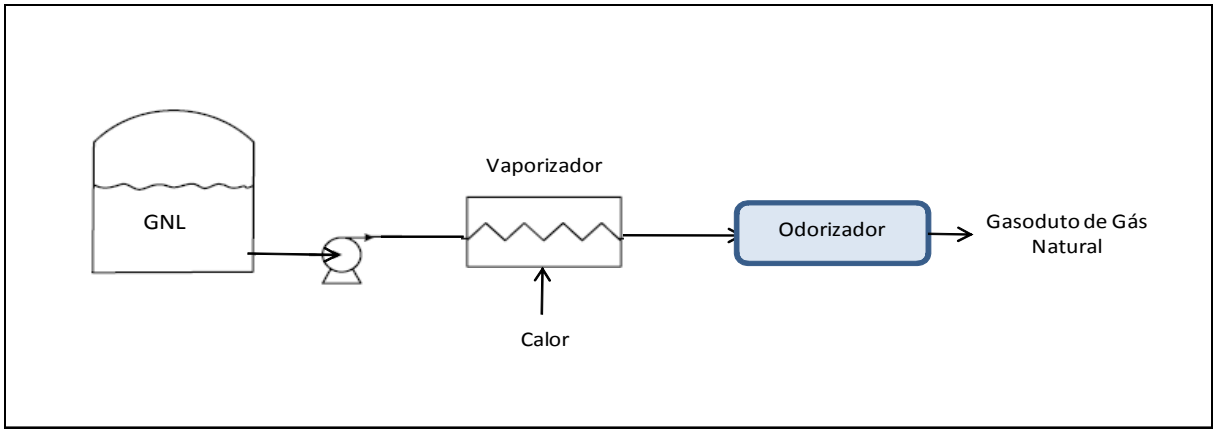

Figura 14 – Diagrama de blocos de um sistema de regaseificação simplificado.

Fonte: KIDNAY e PARRISH, 2006.

Na unidade de regaseificação o GNL é bombeado do tanque de estocagem para o vaporizador, onde o líquido torna-se gás novamente e passa pelo odorizador para depois ser distribuído para os consumidores finais.

O gás natural pode ser transportado sem odorização, exceto quando requerido por normas de segurança aplicáveis, porém, é obrigatória a presença de odorizador na distribuição (GAS, 2011).

4.1.3 Fontes de Perigo numa Unidade de GNL

As principais fontes de perigo de GNL ocorrem, entre outros, por (WOODWARD e PITBLADO, 2010):

- Vazamento de líquido sob pressão;
- Vazamento de líquido do tanque de estocagem;
- Evaporação de poça de líquido para formar uma pluma de vapor inflamável.

A maior preocupação de um vazamento de GNL é o incêndio em poça (*pool fire*). Já o jato de fogo (*jet fire*) requer liberação sob pressão, que também pode ocorrer no processo de produção do GNL (WOODWARD e PITBLADO, 2010).

Uma poça de GNL evapora rapidamente no chão ou em água e produz uma nuvem de vapor. O perigo desta nuvem atingir uma fonte de ignição é a ocorrência de um incêndio em flash (*flash fire*) (WOODWARD e PITBLADO, 2010).

O GNL em concentrações de 71,3% dilui o oxigênio a menos de 6%, causando a morte. Todavia essa concentração de GNL existe apenas em local muito próximo do ponto de vazamento. Em condições normais de variação da direção do vento e as medidas mínimas de afastamento da pluma de vapor, esta situação é difícil de ocorrer numa das etapas de liquefação do GNL (WOODWARD e PITBLADO, 2010).

A queimadura por líquido criogênico também é um perigo presente na operação com GNL, sabe-se também que o líquido criogênico danifica o aço-carbono.

4.1.4 Histórico de Acidentes em Plantas de GNL

As principais etapas de operação do GNL são a unidade operacional e a distribuição, seja por navios cargueiros, seja por carretas criogênicas.

Como este trabalho se refere a uma unidade operacional de GNL, os acidentes relacionados com esta etapa são descritos brevemente a seguir:

- Cleveland, Ohio, EUA, 20 de Outubro de 1944.

Uma planta nivelamento de demanda foi construída pela Companhia de Gás de Ohio em Cleveland, em 1941.

Em 1944, durante a II Guerra Mundial, a unidade foi expandida e três novos tanques foram construídos. Nesta época, havia o racionamento de níquel no metal, não se permitiam concentrações de 9% deste material, concentração normalmente utilizada para estes tanques. As paredes dos tanques foram construídas com aço contendo apenas 3,5% de níquel.

Logo após serem colocados em operação, os tanques tornaram-se frágeis quando expostos a temperatura criogênica do GNL. Após a ruptura de um dos tanques, os outros dois também romperam em seguida, e houve um derramamento de GNL no esgoto da cidade. O acidente foi agravado pela ausência de dique de contenção ao redor dos tanques e pela proximidade da unidade industrial com a área residencial.

O GNL vaporizou e com contato com uma fonte de ignição explodiu, matando cento e vinte e quatro pessoas e ferindo cerca de duzentas a quatrocentas pessoas (WOODWARD e PITBLADO, 2010).

O desastre de Cleveland destruiu setenta e nove residências, duas fábricas, duzentos e dezessete carros e sete trailers. A Figura 16 é uma foto da cidade após a explosão (LNG, 2011).

Figura 15 – Foto da destruição da cidade após explosão

Fonte: LNG, 2011.

- Ilha Canvey, Reino Unido, 5 de Julho de 1965.

Houve um derramamento de GNL de um tanque durante manutenção. O GNL sofreu ignição, ferindo seriamente uma pessoa. O incêndio foi extinguido após 15 minutos.

Foi identificado como causa específica falha na manutenção e drenagem e como causa geral falha humana (SAFETY, 2009).

- Portland, Oregon, EUA, Março de 1968.

Em uma unidade de nivelamento de demanda havia quatro trabalhadores dentro de um tanque de GNL inacabado, quando por um bloqueio indevido ou falta de bloqueio, gás natural de uma tubulação de um gasoduto sendo testada foi direcionada para dentro do tanque, que sofreu ignição e em seguida explodiu. Nem o tanque, nem a unidade de GNL haviam sido comissionados quando o acidente aconteceu (SAFETY, 2009).

- Ilha de Staten, Nova Iorque, EUA, Fevereiro de 1973.

Em um terminal de importação de nivelamento de demanda com tanques revestidos de membrana, houve um vazamento de gás natural entre a membrana e a parede do tanque. O tanque foi retirado de serviço para reparo. Um rasgo foi encontrado por debaixo do revestimento. Durante os reparos não foram utilizados revestimentos à prova de explosão, em desacordo com os procedimentos operacionais, que pediam que fossem utilizados. O gás confinado atrás da membrana sofreu ignição, resultando em incêndio. Com o aumento de temperatura, a pressão no tanque aumentou, de forma que ergueu a calota superior de concreto do tanque, que caiu sobre os trabalhadores (Figura 17), matando 37 pessoas (WOODWARD e PITBLADO, 2010).

Figura 166 - Foto do acidente de Fevereiro de 1973, Ilha de Staten, EUA.

Fonte: LNG EXPLOSION, 2011.

- Arzew, Argélia, 1977.

Um trabalhador da unidade CAMEL foi congelado até a morte quando foi atingido por GNL pressurizado, que foi liberado através da ruptura de uma válvula, localizada no topo de um tanque de estocagem. Cerca de 1.500 a 2.000m^3 foram liberados para a atmosfera, mas esta nuvem de vapor não sofreu ignição. A válvula que rompeu era de alumínio, normalmente as válvulas para GNL são construídas de aço inox (SAFETY, 2009).

- Lusby, Maryland, Cove Point, EUA, 06 de Outubro de 1979.

No terminal de importação de GNL de Cove houve um vazamento de GNL através do selo de uma bomba elétrica mal apertada. Este produto vaporizou e fluiu através do conduite elétrico para a subestação. Como não era esperada a presença de GNL neste prédio, não havia detector instalado. Um trabalhador desligou o disjuntor, provocando a ignição de vapores de gás por arco do disjuntor, matando um trabalhador e ferindo seriamente outro, fora os danos causados no prédio de aproximadamente U$3 milhões de dólares (WOODWARD e PITBLADO, 2010).

- Pinson, AL, EUA, Agosto de 1985.

Numa unidade de nivelamento de demanda, a solda de um pequeno remendo (placa de 8” x 12”) num vaso de alumínio de 3ft de diâmetro e 7ft de altura falhou durante a transferência de GNL da unidade de liquefação. A placa remendada foi projetada dentro de um galpão que continha sala de controle, sala da caldeira e escritórios, o GNL vazou e sofreu ignição, ferindo 6 trabalhadores (WOODWARD e PITBLADO, 2010).

- Mercury, NV, EUA, 29 de Agosto de 1987.

Durante um teste do Departamento de Energia norte-americano, após uma sequência de testes de rápidas transições de fases, a nuvem de vapor sofreu ignição. O incêndio queimou durante cerca de 30s e as chamas atingiram uma altura de 20ft. Oficialmente a possível causa foi uma fagulha gerada pela eletricidade estática aproximadamente 76s após o derramamento (WOODWARD e PITBLADO, 2010).

- Thurley, Reino Unido, 1989.

Em uma unidade de nivelamento de demanda, estavam degelando os vaporizadores, preparando para envio de GNL, para isso abriram algumas válvulas de dreno. Esqueceram de fechar uma das válvulas de dreno e ao ligarem a bomba para o envio de GNL para os vaporizadores, foi liberado GNL em jato a alta pressão e a nuvem de vapor sofreu ignição em cerca de 30s. Houve um incêndio de jato de fogo que queimou as mãos e rosto de dois operadores (WOODWARD e PITBLADO, 2010).

- Skikda, Argélia, 19 de Janeiro de 2004.

Em uma planta de liquefação de gás natural Sonatrach a linha de refrigerante vazou e liberou vapores que foram succionados pela entrada de ar da caldeira. A caldeira explodiu e danificou outras linhas, o que ocasionou uma grande explosão (Figura 18), causando muitos danos à unidade, três trens de GNL foram destruídos, 27 funcionários morreram e 80 foram feridos (WOODWARD e PITBLADO, 2010).

Figura 177 - Foto do acidente de 19 de Janeiro de 2004, Skikda, Argélia.

Fonte: RILEY, 2011.

Como se pode observar dos eventos ocorridos em unidades de operação de GNL, muitos fatores contribuintes ou até mesmo causas raízes dos eventos citados acima estão relacionados com fatores humanos ou organizacionais.

Por isso, o estudo destes fatores é muito importante para que se possa agir de maneira preventiva e, desta forma, evitar acidentes futuros.

4.1.5 Unidade Operacional de GNL de análise

Neste trabalho, o nível de integridade de segurança, calculado na fase de projeto de uma planta de GNL, é relacionado com fatores humanos e organizacionais desta unidade em operação, e um novo SIL operacional é calculado. Busca-se desta forma entender como ou quanto estes fatores podem afetar o SIL de projeto.

O estudo é realizado na unidade de liquefação de gás natural que está instalada e operando em Paulínia (SP) há cinco anos. Esta unidade é composta por uma planta de liquefação, tanques de estocagem de GNL e bombas de enchimento de carretas criogênicas. Por questões de sigilo, o nome da unidade não será revelado.

No capítulo seguinte é descrita a metodologia aplicada para o cálculo do SIL operacional.

Capítulo 5 – Estudo de Caso – Aplicação a uma Planta de GNL

5.1 Introdução

Neste capítulo, é descrita a metodologia de aplicação da teoria de Schönbeck (2007) em uma unidade em operação de GNL. A seguir, os cinco passos desta metodologia são descritos.

5.2 Passo 1: Estimar θ

O primeiro passo da metodologia é estimar a porção do SIL de projeto que pode ser explicada por fatores humanos e organizacionais, denotada por θ. Dependendo do projeto do sistema e condições de operação, alguns sistemas instrumentados são mais sensíveis a fatores humanos e organizacionais do que outros.

Parte-se de uma Função Instrumentada de Segurança com SIL 2, contendo os seguintes sistemas instrumentados de segurança: indicador de pressão, indicador da posição da válvula automática, indicadores de temperatura, alarme contra alta temperatura, chave de desligamento contra alta temperatura, controlador, chave contra baixo fluxo e válvula automática.

Decidiu-se adotar a mesma concepção que Schönbeck (2007) em seu caso ilustrativo, onde $\theta = 0{,}5$, derivado da investigação de incidentes da indústria de processo (HURST el al 1996; PAPAZOGLOU et al, 1999). Segundo Schönbeck (2007), essa proporção pode ser estimada para um sistema específico usando o julgamento de especialistas, ou pode ser baseada em experiências anteriores com sistemas similares sob condições de operação similares.

5.3 Passo 2: Estabelecer pesos relativos $\widetilde{Wi}$ e cálculo de Wi

O segundo passo é, designar um peso relativo $\widetilde{Wi}$ ($\widetilde{Wi}$ ≥ 0 para todo i= 1, ..., 8) para cada fator de influência i.

Utilizando-se os fatores de influência de segurança i considerados por Schönbeck (2007), apenas agrupou-se arrumação e limpeza com organização. O termo

organização frequentemente tem sido empregado como sinônimo de arrumação, ordenação, eficiência (SIQUEIRA, 2011). Por isso optou-se por agrupar esses dois fatores em um só. Obtiveram-se então, os sete fatores de influência de segurança listados na Tabela 5.

Tabela 5 - Fatores de Influência de Segurança na fase operacional dos sistemas instrumentados de segurança

Fatores de Influência de Segurança	Descrição
1- Gerenciamento de Manutenção	Gerenciamento das atividades de manutenção
2- Procedimentos	Qualidade, relevância, disponibilidade
3- Condições de Reforço de Erro	Condições que forçam as pessoas a trabalhar de maneira não prevista no projeto
4- Organização, Arrumação e Limpeza	Ordem, organização e limpeza da área de trabalho
5- Compatibilidade dos Objetivos	Compatibilidade de objetivos entre indivíduo, grupo e nível organizacional
6- Comunicação	Comunicação entre trabalhadores
7- Treinamento	Experiência, conhecimento dos operadores

Baseado no fato de não encontrar outra evidência que apontasse o contrário, conforme no trabalho de Schönbeck (2007), estipulou-se que todos os fatores de influência de segurança possuem o mesmo grau de importância, logo, os pesos relativos de cada fator i, $\widetilde{Wi} = 1$. Usando a equação 5.1 , proposta por Schönbeck (2007), estes pesos são normalizados.

$$Wi = \frac{\widetilde{Wi}}{\sum_{i=1}^{7} \widetilde{Wi}} \tag{5.1}$$

Obtem-se $Wi = \frac{1}{7}$ = 0,143

5.4 Passo 3: Taxar os Fatores de Influência de Segurança (Ri)

Primeiramente, para o cálculo de Ri desenvolveram-se listas de verificação para cada fator de influência de segurança.

5.4.1 Desenvolvimento das Listas de Verificação

Com o objetivo de taxar os fatores de influência de segurança i, uma lista de verificação contendo de dez a quinze questões foi desenvolvida para cada um dos fatores de influência listados na Tabela 5. Para o desenvolvimento das listas de verificação, primeiramente baseou-se nos conceitos de cada um dos fatores de influência e também nas fontes descritas a seguir.

1 - Gerenciamento de Manutenção: A filosofia básica de manutenção é manter o equipamento e a unidade operacional em condições próprias e confiáveis, identificando problemas nos seus estágios iniciais, realizando os ajustes apropriados, e corrigindo problemas na primeira oportunidade para minimizar desligamentos não planejados da unidade (CHEMICAL, 2011).

Algumas questões deste fator de influência foram baseadas no Capítulo 15 da 2ª edição do livro *"Safety Instrumented Systems: Design, Analysis, and Justification"* (GRUHN e CHEDDIE, 2006). Este capítulo contém listas de verificação de segurança de processo dos Sistemas Instrumentados de Segurança, baseados nas normas das indústrias e acúmulo de conhecimento. Estas listas de verificação cobrem todo o ciclo de segurança dos SIS. As perguntas que eram aplicáveis ao ciclo de vida de segurança após a partida da unidade operacional, relacionadas com gerenciamento de manutenção, foram verificadas e utilizadas.

Outras questões foram baseadas na folha de dados da FM Global, empresa de seguro, líder comercial que faz parcerias com empresas para apoiar os objetivos de gestão de riscos (CHEMICAL, 2011). Esta folha de dados contém recomendações para o desenvolvimento efetivo de um programa de manutenção e inspeção nas unidades em operação e também fornece um guia para a verificação da qualidade do programa de manutenção e inspeção das unidades.

O site de gerenciamento de risco e segurança (PROCESS, 2011), que contém listas de verificação de fatores humanos na análise de perigo de processo. Algumas questões aplicáveis à área de manutenção basearam-se nesta pesquisa.

2- Procedimentos: Um procedimento tem o objetivo de padronizar e minimizar a ocorrência de desvios na execução de tarefas fundamentais para a qualidade do exame, independente de quem as faça. Ou seja, aumenta-se a previsibilidade de seus resultados, minimizando as variações causadas por imperícia e adaptações aleatórias da metodologia, independente de falta, ausência parcial ou férias de um funcionário. O procedimento também tem uma finalidade interna de ser um ótimo instrumento para a gerência da qualidade realizar auditorias internas. (DUARTE, 2005).

E algumas questões deste fator de influência foram baseadas também em Gruhn e Cheddie (2006). As perguntas que eram aplicáveis, relacionadas com procedimentos, foram verificadas e utilizadas.

Outras questões também foram baseadas na folha de dados da FM Global (CHEMICAL, 2011).

3 – Condições de Reforço de Erro: Segundo Paté-Cornell et al (1996), Perrow cita que os operadores de centrais nucleares algumas vezes desabilitaram sistemas automáticos e dispositivos de segurança com o objetivo de atender às metas de produção definidas pela organização. Este seria um bom exemplo de uma condição (a pressão por parte da gerência) que reforça um erro.

Uma questão foi baseada na folha de dados da FM Global (CHEMICAL, 2011).

Outras questões foram baseadas no site de gerenciamento de risco e segurança (PROCESS, 2011).

4- Organização, Arrumação e Limpeza: A organização, arrumação e limpeza são fatores indispensáveis para a prevenção de acidentes e manutenção da saúde nos locais de trabalho. Objetos de uso diário devem estar o mais próximos possível e em locais de fácil acesso, já os de utilização menos frequente devem ser arquivados num armário. A sinalização visual deve ser simples, bem-definida e arejada pois ajuda os funcionários a circularem com mais agilidade e rapidez nas áreas internas da empresa. Mesa e instrumentos de trabalho devem ser guardados e limpos no

final da tarde, para que se possa começar sem agitação o dia seguinte (CRIANDO, 2011).

Algumas questões de arrumação, organização e limpeza foram baseadas do site da empresa MANN+HUMMEL (CRIANDO, 2011) que desenvolve, produz e comercializa componentes automotivos complexos. Fala da importância da segurança, organização e limpeza da empresa em questão.

Uma questão foi baseada no site de gerenciamento de risco e segurança (PROCESS, 2011).

As instruções de segurança, meio ambiente e saúde para contratadas da Petrobras (INSTRUÇÕES, 2011) também foram consultadas e serviram de apoio no desenvolvimento de algumas questões, que foram adaptadas para aplicação na fase de operação de uma unidade.

5 – Compatibilidade dos Objetivos: Para que uma empresa tenha o mesmo objetivo de produtividade, operação ou de segurança, todos os trabalhadores devem ter um objetivo comum, isto é, deve existir a compatibilidade entre os objetivos individuais, coletivos e organizacionais.

Uma questão aplicável à compatibilidade dos objetivos, foi baseada em Gruhn e Cheddie (2006).

O artigo de Salas et al (2006) também foi utilizado como fonte para o desenvolvimento da lista de verificação deste fator de influência. Este artigo contém uma lista de verificação sobre gestão de recursos e fatores organizacionais.

O trabalho de pós-graduação de Souza (2011) apresenta algumas listas de verificação como meio de identificação de perigos, este trabalho também foi consultado e algumas perguntas foram retiradas deste trabalho.

6 – Comunicação: Um programa consistente de comunicação evita desvios de informação, cria uma cadeia de responsabilidades e capacita o colaborador como um multiplicador consciente dos princípios e dos objetivos da empresa.

O site de gerenciamento de risco e segurança (PROCESS, 2011) foi consultado para este fator de influência.

7 – Treinamentos: Um programa de treinamento efetivo ajuda os empregados a entenderem os perigos associados com as tarefas que eles realizam. O pessoal de manutenção e operação deve receber treinamentos das atividades que executa em operação normal e também em situações de desligamento de emergência e partida (CROWL e LOUVAR, 2002).

As perguntas que eram aplicáveis a treinamento das listas de verificação de Gruhn e Cheddie (2006) foram verificadas e utilizadas.

As listas de verificação sobre gerenciamento do treinamento dos funcionários de Salas et al (2006) também foram utilizadas.

Nas listas de verificação não foi colocada nenhuma informação no intuito de identificar o trabalhador entrevistado, apenas a informação de tempo gasto para o preenchimento das questões e qual a função exercida pelo trabalhador.

Os questionários foram realizados com respostas objetivas (positivas, negativas ou não aplicáveis) para facilitar a posterior verificação das respostas e acelerar o processo de auditoria. Quando respondidas “NÃO”, indica que existe algum ponto negativo que precisa ser melhorado.

A forma final das listas de verificação utilizadas durante as entrevistas está apresentada no Anexo I deste trabalho.

5.4.2 Cálculo da Taxa dos Fatores de Influência de Segurança (Ri)

Em 30/11/2011 os trabalhadores da unidade em operação de GNL, localizada em São Paulo, foram entrevistados, para medida da taxa dos fatores de influência de segurança Ri. Para isso foram utilizadas as listas de verificação apresentadas no Anexo I deste trabalho. Foram entrevistados ao todo sete trabalhadores da operação, quatro trabalhadores de manutenção e um supervisor de operação. O tempo médio gasto por entrevista foi de aproximadamente 20 minutos.

Antes do início das entrevistas fui apresentada ao grupo pelo supervisor de operação e em seguida explicou-se a cada um deles, no início das entrevistas, que o objetivo das entrevistas era tentar identificar se alguma melhoria era necessária na unidade e que a entrevista não duraria muito tempo, já que era só responder afirmativa ou negativamente.

Ao todo, a unidade tem quatro trabalhadores na manutenção, um supervisor de operação e treze da operação. No dia da inspeção, entrevistaram-se todos os trabalhadores da operação e manutenção da unidade.

O único fator de influência não aplicável a todos os trabalhadores é o "Gerenciamento de Manutenção", apenas os trabalhadores da manutenção e o supervisor de operação foram questionados sobre este fator. Todos os outros fatores de influência foram verificados com todos os trabalhadores.

Quando um trabalhador não sabia a resposta das perguntas das listas de verificação, por não fazer parte da sua rotina de trabalho, ele era orientado a responder "não aplicável" à pergunta.

O estado de cada fator de influência da Tabela 5 foi medido durante uma auditoria utilizando as listas de verificação. Seguindo o proposto por Schönbeck (2007), cada fator de influência é taxado de 0 a 1, sendo que 0 significa a melhor taxa e 1 a pior (atenção imediata é necessária).

Subsequentemente, o número de indicadores que precisam de melhorias foi dividido pelo número total de indicadores utilizados para este fator de influência de segurança e esta fração foi subtraída de 1, fornecendo assim a taxa Ri para o fator de influência i.

Por exemplo, para o fator de influência "Gerenciamento de Manutenção", aplicável aos quatro trabalhadores de manutenção e ao supervisor de operação, um dos trabalhadores respondeu que três questões (das doze) não eram aplicáveis à rotina de trabalho dele e as outras nove respondeu positivamente, outros dois trabalhadores responderam uma questão negativa e onze positivamente e os outros dois trabalhadores responderam as doze questões positivamente, obteve-se:

$$Ri = 1 - \frac{9+11+11+12+12}{9+12+12+12+12} = 0{,}035$$

O mesmo foi realizado para todos os outros seis fatores analisados. Estes valores estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados obtidos com as auditorias de segurança para **Ri**

Fatores de Influência de Segurança	Ri
1- Gerenciamento de Manutenção	0,035
2- Procedimentos	0,035
3- Condições de Reforço de Erro	0,020
4- Organização, Arrumação e Limpeza	0,000
5- Compatibilidade dos Objetivos	0,031
6- Comunicação	0,007
7- Treinamento	0,016

5.5 Passo 4: Cálculo do SIL Operacional

O quarto passo é calcular o SIL operacional, que é obtido através da seguinte fórmula, proposta por Schönbeck (2007):

$$SIL_{operacional} = (1 - \theta \sum_{i=1}^{7} WiRi)\, SIL_{projeto} \qquad (5.2)$$

- onde $\theta = 0{,}5$, θ é a proporção do SIL de projeto que pode ser explicado por fatores humanos e organizacionais;

- R_i é a taxa para os fatores de influência de segurança, os valores estão representados na Tabela 6;

- $W_i = 0{,}143$, onde W_i é o fator de peso para o fator de influência de segurança i;

- $SIL_{projeto} = 2$.

Substituindo todos os valores na equação 5.2, obtém-se:

$SIL_{operacional}$= 1,98.

O resultado da equação (5.2) é aproximado para o valor inteiro mais próximo, logo é aproximado para 2.

5.6 Passo 5: Ações Corretivas e Preventivas

O passo cinco fornece um guia para ações corretivas ou preventivas. Os fatores de influência de segurança com maior taxa de peso $(WiRi)$ contribuem mais para a diferença entre o SIL de projeto e o SIL operacional e mais atenção é necessária. (Schonbeck, 2007)

A Tabela 7 representa os valores da taxa de peso dos fatores de influência de segurança $(WiRi)$ e a Figura 19 representa graficamente estes valores.

Tabela 7 - Taxa de peso dos fatores de influência de segurança $(\boldsymbol{WiRi})$

Fatores de Influência de Segurança	Ri	WiRi
1- Gerenciamento de Manutenção	0,035	0,005
2- Procedimentos	0,035	0,005
3- Condições de Reforço de Erro	0,020	0,003
4- Organização, Arrumação e Limpeza	0,000	0,000
5- Compatibilidade dos Objetivos	0,031	0,004
6- Comunicação	0,007	0,001
7- Treinamento	0,016	0,002

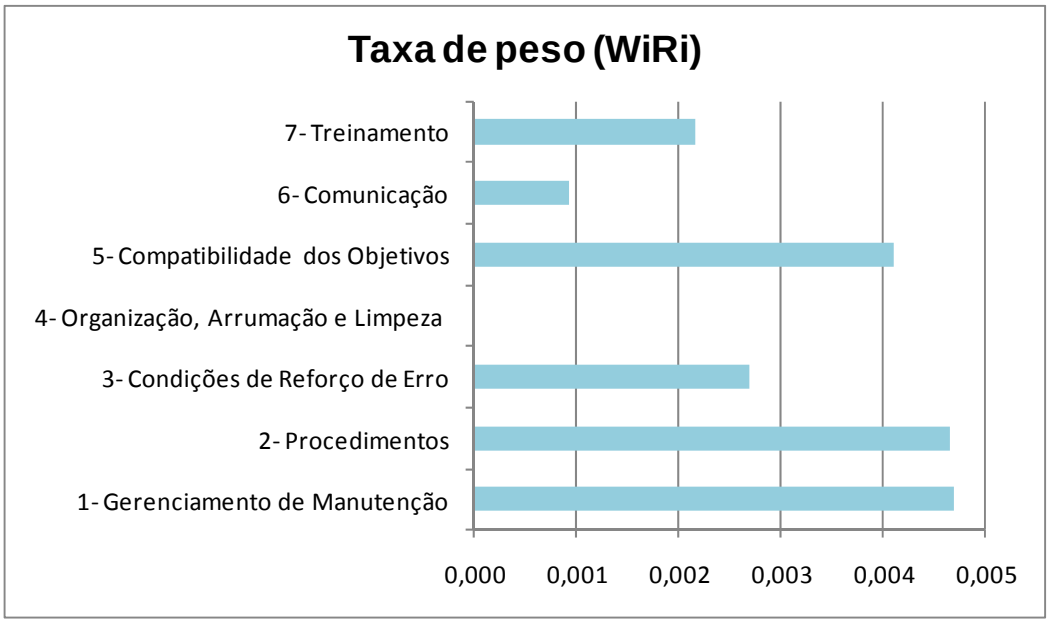

Figura 188 - Taxa de peso dos fatores de influência de segurança (**WiRi**)

Pode-se observar que os fatores de influência de segurança que apresentaram uma maior taxa de peso ($WiRi$) foram procedimentos e gerenciamento de manutenção, seguido de compatibilidade dos objetivos, condições de reforço de erro, treinamento e comunicação. Organização, arrumação obteve taxa zero.

Capítulo 6 – Conclusão

6.1 Análise dos Resultados

Através das entrevistas realizadas, conseguiu-se atingir o objetivo e calcular o SIL operacional de uma unidade em operação de GNL.

Durante as entrevistas, a princípio, os trabalhadores estavam um pouco desconfiados. Entretanto, assim que começaram a responder às perguntas dos questionários, perceberam que não havia identificação e que o objetivo das questões era ajudá-los. Então, sentiram-se mais à vontade.

Tentou-se não alongar muito as perguntas, uma vez que os trabalhadores tinham suas atividades diárias para cumprir. Como as respostas eram objetivas, isto ajudou na rapidez do processo. As entrevistas duraram, em média, cerca de 20 minutos, para cada entrevistado.

Apesar da aproximação para um valor inteiro, o resultado das listas de verificação indica que a unidade mantém na fase de operação o mesmo valor de SIL de projeto, demonstrando que não há razões para questionar ou duvidar da correta administração dos fatores humanos e organizacionais, já que não foi identificado nenhum fator que apresentasse perigo iminente. Pela visita e entrevistas realizadas, percebeu-se que a área de trabalho é bem organizada, limpa e arrumada. Percebeu-se também um enorme comprometimento dos trabalhadores com a segurança da unidade, fato este que foi comprovado com os resultados das entrevistas.

Pôde-se observar que este modelo, além de servir como uma ferramenta de verificação se os fatores humanos e organizacionais estão influenciando negativamente os sistemas instrumentados de segurança, ou seja, o SIL da unidade, também serve para indicar qual fator de segurança precisa de mais atenção, isto é, funciona como um guia para ações corretivas ou preventivas.

Com relação aos fatores de influência de segurança, verificou-se um ótimo resultado em “Organização, Arrumação e Limpeza”, já que todas as questões foram

respondidas positivamente por todos os trabalhadores. Os fatores de influência de segurança que apresentaram os piores resultados foram “Procedimentos” e “Gerenciamento de Manutenção”. Com relação aos procedimentos, a pergunta que obteve duas respostas negativas foi “Os procedimentos de manutenção são suficientemente detalhados e de fácil entendimento, de forma a não deixar nenhuma interpretação ou decisão importante para o pessoal da manutenção?”. O outro fator de segurança (Gerenciamento de Manutenção) obteve duas respostas negativas na pergunta “A gerência investe na manutenção preventiva dos equipamentos?”. Em terceiro lugar ficou “Compatibilidade de Objetivos”, que recebeu duas respostas negativas com a pergunta “Existe suporte do gerenciamento com relação ao incentivo de treinamento dos funcionários?”. Estas informações devem ser usadas como um ponto de partida para uma análise mais profunda destes fatores de influência.

Como se estabeleceram pesos relativos (Wi) iguais para todos os fatores de influência de segurança, as taxas de peso $WiRi$ apresentam os mesmos resultados descritos no parágrafo acima.

6.2 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, sugere-se mais uma visita à unidade estudada para identificação mais profunda destes problemas encontrados e correção destes pontos específicos. Após a correção, sugere-se voltar ao passo três da metodologia proposta por Schönbeck (2007), alterando as questões das listas de verificação.

Propõe-se incluir ao lado de cada pergunta da lista de verificação uma coluna de verificação das evidências, onde será possível, em alguma das questões, verificar a veracidade das respostas.

Sugere-se também que esta análise seja realizada periodicamente na unidade, como uma ferramenta de melhoria contínua ou de monitoramento e que seja aplicada também em outras unidades.

Seria interessante a verificação da variação dos valores de θ e $Wi,$ para analisar como influencia no resultado final do cálculo do SIL operacional.

É importante também que a gerência tente identificar outros fatores de influência de segurança, através da observação das atividades diárias realizadas e da operação da unidade, que não foram incluídos neste trabalho e que podem estar presentes na unidade e contribuir negativamente para a segurança da operação.

Referências Bibliográficas

ABIQUIM, A Indústria química como pilar da sustentabilidade no Brasil, Abril, 2012. Disponível em: http://www.abiquim.org.br/atuacaoresponsavel/. Acesso em: 10 de abril de 2012.

ABNT, NBR 14280 Cadastro de Acidentes do Trabalho – Procedimento e Classificação, Março 2001.

ABU-KHADER M. M. Impact of human behavior on process safety management in developing countries. Proc. Safety Environ. Protection, v.82, p.431-437, 2004

ANSI/ISA-84.01-1996. Application of Safety Instrumented Systems for the Process Industries. Research Triangle Park, NC: ISA, 1996.

ANSI/ISA-91.00.01-2001. Identification of Emergency Shutdown Systems that are Critical to Maintaining Safety in Process Industries, 2001.

ANSI/ISA-84.00.01-2004. Functional Safety: Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector – Parts 1, 2 and 3, ISA, NC: Research Triangle Park, 2004.

ATHERTON, J.; GIL, F. Incidents that Define Process Safety, Wiley-Interscience, New York, 2008.

ATTWOOD, D.; KHAN, F.; VEITCH, B. Occupational Accident Models – Where Have We Been and Where Are We Going? Journal of Loss prevention in the Process Industries, v. 19, p. 664-682, 2006.

AVEN, T.; HAUGE, S.; SKLET, S.; VINNEM, E. Methodology for Incorporation Human and Organizational Factors in Risk Analysis for Offshore Installations, International Journal of Materials & Structural Reliability, v. 4, No. 1, p.1-14, março 2006.

BAUMONT, G.; MÉNAGE, F.; SCHNEITER, J.R.; SPURGIN, A.; VOGEL, A. Quantifying Human and Organizational Factors in Accident Management using Decision Trees: The HORAAM method, Reliability Engineering & System Safety, v.70, No 2, p.113-124, 2000.

BOSCO, F. Segurança operacional adota gestão sobre barreiras de proteção para manter riscos em níveis aceitáveis, Revista Petro & Química - Segurança Operacional – A integridade do Processo, Edição 309, 2008.

CAMERA, M. Fatores Organizacionais que podem afetar o seu projeto. Abr.2010. Disponível em: <http://gerenciamentoestrategico.wordpress.com/2010/04/29/fatores-organizacionais-que-podem-afetar-o-seu-projeto/>. Acesso em: 12 de novembro de 2011.

CHAME, L. M. Confiabilidade de Sistemas Instrumentados de Segurança: Análise Custo- Benefício de alternativas para o atendimento ao SIL requerido em instalações

industriais, Tese de Dissertação de Mestrado submetida a Coordenação dos Programas de Pós- Graduação de Engenharia da UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil 2007.

CHEMICAL – Human Element - Maintenance and Inspection – FM Global Property Loss Prevention Data Sheets, p.09, Abril. 2011. Disponível em: http://www.fmglobal.com/fmglobalregistration/ViewCollection.aspx?name=Chemical - Human Element.zip>. Acesso em: 05 maio de 2011.

CORREA, C. R. P.; JUNIOR, M. M. C. Análise e Classificação dos Fatores Humanos nos Acidentes Industriais, Revista Produção v.17, n.1 jan./abril 2007.

CRIANDO o ambiente da Qualidade e Produtividade. Disponível em: <http://www.mann-hummel.com/mhbr/index.html?iKeys=7.5.912.0.0>. Acesso em: 05 de setembro de 2011.

CROWL, D. A.; LOWAR, J. F. Chemical Process Safety – Fundamentals with Applications, 2ª Edição, cap. 10, Prentice Hall PTR, New Jersey, 2002.

DANTAS, L. O. GNL, Disponível em: <http://www.gasnet.com.br/novo_gnl_descricao.asp>, Acesso em: 02 de novembro de 2011.

DNV, Fatores Humanos e Cultura de Segurança, 2009. Disponível em: < http://www.dnv.com.br/industry/energy/services/she_risk_management/human_factors/>. Acesso em: 17 de março de 2012.

DROGOUL, F. Revisiting the Swiss Cheese Model of Accident Eurocontrol Experimental Centre, European Organisation for the Safety of Air Navigation, França, Outubro de 2006.

DUARTE, R. L. Procedimento Operacional Padrão - A Importância de se Padronizar tarefas nas BPLC, Curso de BPLC, Belém-PA, 2005. Disponível em <http://www.anvisa.gov.br/reblas/cursos/qualidade17/MP%20_apostila_%205%20-%20final.pdf>. Acesso em: 15 de novembro de 2011.

EMBREY, D. E. Incorporating Management and Organizational Factors into Probabilistic Safety Assessment. Reliability Engineering and System Safety, v. 38, p. 199-208, 1992.

FINKEL, V. S. et al. Instrumentação Industrial, 2ª. Edição, Interciência, Rio de Janeiro, 2006.

GAS Natural; Disponível em <http://www.gasnet.com.br/novo_gasnatural/gas_completo.asp>. Acesso em: 05 de novembro de 2011.

GNL – Vantagens; Disponível em: <http://www.gaslocal.com.br/gnl_vantagens.html>. Acesso em: 02 de novembro 2011.

GOBLE, W. M.; CHEDDIE, H. Safety Instrumented Systems Verification: Practical Probabilistic Calculations, the Instrumentation, Systems and Automation Society, USA, 2005.

GORDON, R. P. E. The Contribution of Human Factors to Accidents in the Offshore Oil Industry, Reliability Engineering and System Safety, v.61, p.95-108, 1998.

GROENEWEG, J. Hazard Analysis: The accident causation model. In: STELLMANN, J. M. (Ed) The ILO Encyclopaedia of Occupational Health and Safety, fourth edition. ILO Publications, Geneva, 1998

GRUHN, P.; CHEDDIE, H. Safety Instrumented Systems: Design, Analysis and Justification, 2ª Edição, the Instrumentation, Systems and Automation Society, USA, 2006.

GULDENMUND, F.; HALE, A. R; GOOSSENS, L; BETTEN, J.; DUIJM, N. J. The Development of an Audit Technique to Assess the Quality of Safety Barrier Management, Journal of Hazardous Material, v.130, p.234-241, 2006.

HALE, A. R.; GULDENMUND, F. W.; VAN LOENHOUT P. L. C. H.; OH J. I. H. Evaluating Safety Management and Culture Interventions to Improve Safety: Effective Intervention Strategies, Safety Science, v.48, p. 1026-1035, 2010.

HÄRING, H.-W. Industrial Gases Processing, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008.

HURST, N. W.; YOUNG, S.; DONALD, I.; GIBSON, H.; MUYSELAAR, A. Measure of Safety Management Performance and Attitudes to Safety at Major Hazard Sites, Loss of Prevention Process Industry, v. 9, No. 2, p.161-172, 1996.

HURST, N. From Research to Practical Tools – Developing Assessment Tools for Safety Management and Safety Culture, Loss of Prevention Process Industry, v.10, No 1, p. 63-66,1997.

IEC 61508, Functional Safety of electrical/ electronic/ programmable electronic safety- related systems, 1ª Edição, Genova: Switzerland, 1998.

IEC 61508, Functional Safety of electrical/ electronic/ programmable electronic safety- related systems, Genova: Switzerland, 2000.

IEC 61511, Functional Safety – Safety Instrumented Systems for the Process industry sector, 1ª Edição, Genova: Switzerland, 2003.

INSTRUÇÕES de Segurança, Meio Ambiente e Saúde (SMS) para contratadas. Disponível em:< http://www.sintesc.com/bib/instrucoes_seg_contratadas_petrobras.pdf>. Acesso em 06 de abril de 2011.

JACOBSSON, A.; SALES, J.; MUSHTAQ, F. A Sequential Method to Identify Underlying Causes from Industrial Accidents Reported to the MARS Database, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, v. 22, pág. 197-203, 2009.

KIDNAY, A. J.; PARRISH, W. R. Fundamental of Natural Gas Processing, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2006.

KLETZ, T. A. What Went Wrong? - Case Histories of Process Plant Disasters, 4ª Edição, USA, Gulf Professional Publishing 1998.

LNG Explosion Rocks Cleveland; 2006. Disponível em: <http://cr4.globalspec.com/blogentry/408/October-20-1944-LNG-Explosion-Rocks-Cleveland>. Acesso em: 05 de Novembro de 2011.
LNG EXPLOSION in Bloomfield kills 40, destroys Project. Staten Island Advance. New York. USA. 2011. Disponível em: <http://www.silive.com/specialreports/index.ssf/2011/03/lng_explosion_kills_40_destroy.html>. Acesso em: 05 de Novembro de 2011.

MACDONALD, D. Practical Industrial Safety, Risk Assessment and Shutdown Systems for Industry, 1ª Edição, Newnes, London, 2004.

MARSZAL, E. M.; SCHARPF, E. W. Safety Integrity Level Selection: Systematic Methods Including Layer of Protection Analysis, The instrumentation, Systems and Automation Society, USA, 2002.

MEEL, A.; SEIDER, W. D. Analysis of Management Actions, Human Behavior, and Process Reliability in Chemical Plants Part I: Impact of Management Actions, Department of Chemical and Bimolecular Engineering, University of Pennsylvania, Philadelphia, July 2007.

MIRANDA, V. A. A.; CABRAL, S. D.;. HADDAD, A. N. H. TRIPOD: Uma Ferramenta de Identificação e Análise de Riscos baseada nos Acidentes, Revista Ação Ergonômica v. 1, no. 3, p. 9-20, 2002.

NORMA de Sistemas Instrumentados de Segurança para Brasileiros. Jan.2011. Disponível em <www.exida.com/index.php/features/indepth/a_norma_de_sistemas_instrumentados_de_seguranca_para_brasileiros>. Acesso em: 17 de outubro de 2011.

NUNES, MANUELINA PORTO Análise de Risco no Processo de Avaliação de Impactos Ambientais Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, João Pessoa, 2002.

ØIEN, K. A Framework for the Establishment of Organizational Risk Indicators. Reliability Engineering and System Safety, v.74, p.147–167, 2001.

PAPAZOGLOU, I. A.; Aneziris, O. On the Quantification of Effects of Organizational and Management Factors in Chemical Installations, Reliability Engineering & System Safety, v.63, p.33-45, 1999.

PATÉ-CORNELL, M. E.; MURPHY, D. M. Human and Management Factors in Probabilistic Risk Analysis: The SAM Approach and Observations from recent applications, Reliability Engineering and System Safety, v.53, p.115-126, 1996.

PATÉ-CORNELL, M. E. Learning from The Piper Alpha Accident: A Post-Modern Analysis of Technical and Organizational Factors. Risk Analysis, v.13, p. 215-232, 1993.

PERTUSIER, Rafael R. Da expansão do GNL e da Evolução da Indústria do Gás Natural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 2, 2003, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos Rio de Janeiro, 2003. Disponível em <http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/2/8047.pdf>. Acesso em 16 Setembro de 2011.

PETROBRAS, N-2595 Critérios de Projeto e Manutenção para Sistemas Instrumentados de Segurança em Unidades Industriais, Brasil, São Paulo, SP 1997.

PROCESS Hazard Analysis Evaluation of External Forces, USA, 1999. Disponível em: <www.acusafe.com/Checklist/checklist-facilitysiting.htm>. Acesso em: 12 julho de 2011.

REASON, J. Human Error: Models and Management. British Medical Journal, v.320 (7237), p. 768-770, 18 março, 2000.

REASON, J. Human Error. New York: Cambridge University Press, 1990.

RILEY, T.; RILEY, H. LNG History and LNG Accidents; Disponível em: <http://www.timrileylaw.com/LNG.htm>. Acesso em: 05 de Novembro de 2011.

RONCEROS, N. G. Simulação do Processo de Liquefação de Gás Natural APCI C3MR. Orientador: Sergio Leal Braga, Rio de Janeiro, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Pontifícia Universidade Católia do Rio de Janeiro – PUC-RJ, Outubro de 2008.

SAFETY History of International LNG Operations. TD-02109. Page 1 of 23 - CH·IV Corporation's, Houston, Texas, March 2009. Disponível em: <http://www.ch-iv.com/pdfs/Safety%20History%20of%20International%20LNG%20Operations%20_Mar%202009_.pdf>. Acesso em: 09 de setembro de 2011.

SALAS, E.; WILSON, K. A.; BURKE, W. C. S.; WIGHTMAN, D. C.; HOWS, W. R. A Checklist for Crew Resource Management Training. Human Factors and Ergonomics Society, v. 14, Nº 2, Spring 2006.

SALVI, O.; DEBRAY, B. A global view on ARAMIS, A Risk Assessment Methodology for Industries in the Framework of the SEVESO II directive, Journal of Hazardous Materials, v.130, p. 187-199, 2006.

SHAPELL, S.; WIEGMANN, D. The Human Factors Analysis and Classification System (HFACS). Federal Aviation Administration, Office of Aviation Medicine Report Nº DOT/FAA/AM-00/7. Office of Aviation Medicine. Washington, DC, 2000.

SCHÖNBECK, M. Human and Organizational Factors in the Operational Phase of Safety Instrumented Systems: A New Approach, Master Thesis, Eindhoven

University Technology/ Department of Technology Management/ Section of Quality and Reliability Engineering, 2007.

SIL, SIS, Shutdown. Revista Controle & Instrumentação, ed. Valete, São Paulo, nº 104, Mai. 2005. Disponível em <www.editoravalete.com.br/site_controleinstrumentacao/arquivo/ed_104/cv5.html>. Acesso em: 17 de outubro de 2011.

SIQUEIRA, F. Organização & Métodos I. Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: <http://www.uff.br/sta/textos/fs005.pdf>. Acesso em: 03 de novembro de 2011.

SMITH, D. J.; SIMPSON, K. G. L. Functional Safety: A Straightforward Guide to Applying IEC 61508 and Related Standards, 2ª Edição, Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford, 2004.

SOPPA, E. L. Sistema Tolerante a falhas utilizando Windows CE, Focando Controladores Industriais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica submetida ao Departamento de Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná da Universidade Federal do Paraná, Brasil 2009.

SOUZA, C. R. C. Análise e Gerenciamento de Riscos de Processos Industriais. Disponível em: <www.segurancanotrabalho.eng.br/download/Apostila_de_Gerenciamento_de_Riscos.pdf>. Acesso em: 07 de setembro de 2011.

TORRES-ECHEVERRÍA, A.C.; MARTORELL, S.; THOMPSON, H. A. Modeling and Optimization of Proof Testing Policies for Safety Instrumented Systems, Reliability Engineering and System Safety, v. 94, p. 838 – 854, 2009.

UNDERWRITERS Laboratories Inc, Understanding Key Changes in IEC 61508: 2010, Disponível em: < http://www.ul.com/global/documents/offerings/industries/powerandcontrols/UL_WhitePaper_2nd_Edition_IEC61508.pdf>. Acesso em: 15 de outubro de 2011.

VERDE, M. J. C. Auditoria em Segurança, Disponível em: < http://www.viaseg.com.br/artigos/artigo_marcy_030901.htm>. Acesso 17 de março de 2012.

WESTFALL-LAKE, P. Human Factors: Preventing Catastrophic Human Error in 24-Hour Operations, Process Safety Progress, v.19, Nº1, p.9-12, 2000.

WHITE Martins Gases Industriais, Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos da, Produto: Gás Natural Liqüefeito FISPQ n.º P-4880-A, Março 2004.

WOODWARD, J. L.; PITBLADO, R. M. LNG Risk Based Safety - Modeling and Consequence Analysis, Wiley, 2010.

Anexo I

Função: _____

Data: _____

Horário do Início da Entrevista: _____ Horário do Fim da Entrevista: _____

I - Gerenciamento de Manutenção	S	N	NA
1.1- Foram designadas as pessoas ou departamentos responsáveis por gerenciar a fase de operação da unidade industrial?	☐	☐	☐
1.2- Existe algum plano de manutenção preventiva por escrito na unidade industrial?	☐	☐	☐
1.3- O programa de manutenção preventiva é seguido?	☐	☐	☐
1.4- Os resultados dos testes de manutenção são mantidos na unidade industrial?	☐	☐	☐
1.5- Os resultados contêm: a) Data da inspeção de funcionamento realizada no equipamento/dispositivo? b) Nome da pessoa que conduziu o teste de funcionamento do equipamento/dispositivo? c) Identificação do equipamento/dispositivo sendo testado? d) Resultado do teste de funcionamento do equipamento/dispositivo?	☐	☐	☐
1.6- Durante manutenção preventiva, a planta é desligada? Em caso negativo, a planta é mantida em estado seguro?	☐	☐	☐
1.7- O plano de manutenção preventiva inclui os dispositivos críticos de segurança, conforme indicado nas SA´s 39 e 40, inclusive segue os intervalos de teste estabelecidos? (SA-39/40 são Sistemas Críticos de Operação e Parâmetros Críticos de Operação desenvolvidos na fase do projeto pelo Engenheiro de Processo do Projeto).	☐	☐	☐
1.8- O programa de manutenção inclui inspeções periódicas dos equipamentos, válvulas, instrumentação para verificação de irregularidades ou necessidade de revisão?	☐	☐	☐
1.9- As placas contendo tags de equipamentos e válvulas e as sinalizações de segurança (como necessidade de permissão especial de trabalho ou pressurização do gasoduto) estão incluídas no plano de manutenção preventiva da unidade industrial e são atualizados quando necessário?	☐	☐	☐
1.10- Existe um programa de inspeção, teste e manutenção para os sistemas de controle/ prevenção de perdas de propriedades (como: sistema de sprinkler, CO2, recarga de extintores de incêndio)?	☐	☐	☐
1.11- Quando um problema sério é encontrado durante uma inspeção de funcionamento do equipamento/ dispositivo/ válvula, as ações necessárias são discutidas com os supervisores responsáveis?	☐	☐	☐
1.12- A gerência investe na manutenção preventiva dos equipamentos?	☐	☐	☐

Função: _____

Data: _____

Horário do Início da Entrevista: _____ Horário do Fim da Entrevista: _____

II - Procedimentos	S	N	NA
2.1- Existem procedimentos para documentar e corrigir qualquer deficiência na especificação, processo ou programação revelado durante um teste?	☐	☐	☐
2.2- Os procedimentos de manutenção são suficientemente detalhados e de fácil entendimento, de forma a não deixar nenhuma interpretação ou decisão importante para o pessoal da manutenção?	☐	☐	☐
2.3- Existem procedimentos para limitar o acesso apenas a pessoas autorizadas durante manutenção?	☐	☐	☐
2.4- Os procedimentos de manutenção e operação são revistos periodicamente?	☐	☐	☐
2.5- Todos os procedimentos operacionais estão adequadamente documentados?	☐	☐	☐
2.6- Os procedimentos são distribuídos para todos os empregados que aplicam este procedimento?	☐	☐	☐
2.7- Existe algum procedimento para substituição imediata de um equipamento/ sistema considerado "crítico" avariado que afete a segurança da operação?	☐	☐	☐
2.8- Os procedimentos de permissão de trabalho especial (PTE) são aplicados na unidade quando necessário?	☐	☐	☐
2.9- A unidade industrial possui um procedimento para comunicação, investigação e divulgação de acidentes/ incidentes?	☐	☐	☐
2.10- Existem procedimentos documentados para manter o sistema de segurança quando as funções de segurança são bypassadas?	☐	☐	☐

Função: _____

Data: _____

Horário do Início da Entrevista: _____ Horário do Fim da Entrevista: _____

III - Condições de reforço de erro	S	N	NA
3.1- Evita-se manter mais de um procedimento para um determinado equipamento disponível na área de trabalho?	☐	☐	☐
3.2- A análise de perigos da unidade industrial está atualizada com a realidade da planta?	☐	☐	☐
3.3- O programa de manutenção e o manual de operação da unidade estão atualizados em relação à realidade da planta?	☐	☐	☐
3.4- Os fluxogramas de processo (P&ID) e o layout da unidade estão atualizados com a realidade da unidade industrial?	☐	☐	☐
3.5- O desenho de classificação elétrica de áreas da unidade está atualizado?	☐	☐	☐
3.6- A duração do turno de trabalho é apropriada, baseado no cansaço do trabalho?	☐	☐	☐
3.7- Caso os operadores tenham feito alguma modificação no display, equipamento ou controles para melhorar suas necessidades, essas modificações são registradas formalmente e revistas com todos?	☐	☐	☐
3.8- Todos os equipamentos importantes (ex.: vasos, válvulas, instrumentos) estão clara e corretamente identificados e não contêm informações ambíguas?	☐	☐	☐
3.9- Existe iluminação suficiente para a operação na unidade industrial, inclusive à noite?	☐	☐	☐
3.10- A temperatura ambiente da área de trabalho normalmente é confortável?	☐	☐	☐
3.11- O ruído é mantido num nível tolerável?	☐	☐	☐
3.12- Caso algum problema/ defeito seja encontrado em alguma ferramenta ou equipamento, ela é posta em desuso ou encaminhada para manutenção ou alguma sinalização é posta sobre o equipamento?	☐	☐	☐
3.13- Os documentos com informações ultrapassadas são jogados no lixo?	☐	☐	☐
3.14- Evita-se excesso de responsabilidade ou acúmulo de função?	☐	☐	☐

Função: _____

Data: _____

Horário do Início da Entrevista: _____ Horário do Fim da Entrevista: _____

IV - Organização, Arrumação e Limpeza da Área de Trabalho:	S	N	NA
4.1- As áreas de trabalho geralmente são mantidas limpas e organizadas?	☐	☐	☐
4.2- As áreas de armazenamento de inflamáveis e combustíveis são mantidas limpas e sem entulhos e o local é arejado?	☐	☐	☐
4.3- As ferramentas são armazenadas em seu devido lugar após a utilização?	☐	☐	☐
4.4- As áreas de trabalho estão desobstruídas e sem excesso de refugo e entulho e as passagens são mantidas livres?	☐	☐	☐
4.5- Derramamentos/ vazamentos de óleo de máquinas/ equipamentos são limpos imediatamente?	☐	☐	☐
4.6- Os equipamentos de proteção/combate contra incêndio estão desobstruídos?	☐	☐	☐
4.7- Na área de estocagem, as pilhas de materiais são bem feitas, sem possibilidade de se deslocarem?	☐	☐	☐
4.8- As máquinas/ equipamentos estão livres de materiais ou peças desnecessárias?	☐	☐	☐
4.9- Todas as proteções das máquinas/ equipamentos estão em seus devidos lugares?	☐	☐	☐
4.10- Os avisos de segurança afixados estão em bom estado?	☐	☐	☐
4.11- Existe um método de identificação para garantir que somente o pessoal autorizado entre na unidade industrial?	☐	☐	☐
4.12- É feito descarte dos itens/objetos sem utilidade da área de trabalho?	☐	☐	☐
4.13- Existe área delimitada ou é proibido fumar na área de operação e os trabalhadores respeitam isso?	☐	☐	☐

Função: _____

Data: _____

Horário do Início da Entrevista: _____ Horário do Fim da Entrevista: _____

V - Compatibilidade dos Objetivos	S	N	NA
5.1- Todos os funcionários estão comprometidos com o programa de gerenciamento de segurança?	☐	☐	☐
5.2- Existe suporte do gerenciamento com relação ao incentivo de treinamento dos funcionários?	☐	☐	☐
5.3- Os trabalhadores participam do sistema de gerenciamento de segurança da planta?	☐	☐	☐
5.4- É proibida a realização de manutenção de equipamento ou instrumento por funcionário não autorizado?	☐	☐	☐
5.5- Os funcionários realizam treinamentos quando solicitados?	☐	☐	☐
5.6- Existem meios de verificar que os reparos são realizados em tempo consistente com o plano estabelecido?	☐	☐	☐
5.7- A gerência ou alguém designado realiza visitas regulares à área de trabalho para discutir a Gerência de Riscos com seus colaboradores, identificar e registrar novas exposições e reduzir falhas de comunicação?	☐	☐	☐
5.8- São realizadas reuniões periódicas com outros gerentes/diretores para compartilhar informações de operação das plantas?	☐	☐	☐
5.9- Quando um trabalhador observa algum comportamento de risco de outro trabalhador, ele comunica à chefia imediata?	☐	☐	☐
5.10- Quando algum problema é comunicado à chefia, a chefia age adequadamente para corrigi-lo?	☐	☐	☐
5.11- Os trabalhadores são encorajados a comunicar qualquer incidente/ acidente ou falha de processo?	☐	☐	☐
5.12- A unidade industrial tem um programa regular de debate de segurança?	☐	☐	☐

Função: _____

Data: _____

Horário do Início da Entrevista: _____ Horário do Fim da Entrevista: _____

VI - Comunicação	S	N	NA
6.1- Quando necessário, devido à grande distância entre um ou mais trabalhadores, equipamentos de comunicação (como por exemplos rádios) são utilizados?	☐	☐	☐
6.2- Os equipamentos de comunicação são fácil e adequadamente acessíveis?	☐	☐	☐
6.3- Os meios de comunicação entre os operadores estão em bom estado, sem interferência?	☐	☐	☐
6.4- O ruído ambiente da unidade industrial é mantido a um nível que não interfere na comunicação entre os operadores?	☐	☐	☐
6.5- Os trabalhadores são informados de qualquer mudança nas áreas de processo?	☐	☐	☐
6.6- Os trabalhadores envolvidos são informados em caso de alguma alteração temporária na área de processo?	☐	☐	☐
6.7- Durante bloqueio e etiquetagem de algum sistema na área de processo, todos os trabalhadores compreendem visualmente que não devem mexer no sistema bloqueado?	☐	☐	☐
6.8- Caso uma área esteja isolada e sinalizada todos os funcionários compreendem visualmente que não devem entrar nela?	☐	☐	☐
6.9- Quando ocorre algum problema ou falha durante a realização da atividade, o executor comunica à supervisão imediatamente?	☐	☐	☐
6.10- Durante uma comunicação, busca-se minimizar ou até eliminar os desvios de atenção para que se obtenha um bom aproveitamento das informações transmitidas? (ex.: não comunicar no fim do turno de trabalho)	☐	☐	☐
6.11- As orientações de uma atividade são passadas aos trabalhadores de forma clara e detalhada?	☐	☐	☐
6.12- Existe um bom entendimento entre os funcionários que lideram e os que executam as atividades?	☐	☐	☐

Função: _____

Data: _____

Horário do Início da Entrevista: _____ Horário do Fim da Entrevista: _____

VII - Treinamento	S	N	NA
7.1- Os funcionários são/ foram treinados adequadamente nos procedimentos de operação e manutenção do sistema?	☐	☐	☐
7.2- Os operadores passam por reciclagem de treinamento?	☐	☐	☐
7.3- Quando um funcionário novo é contratado, este é treinado na operação antes de iniciar as atividades?	☐	☐	☐
7.4- Existe algum meio de medir se o operador aprendeu e está apto para iniciar as atividades?	☐	☐	☐
7.5- Caso mude alguma condição de processo, um novo treinamento é fornecido aos operadores?	☐	☐	☐
7.6- Quando um procedimento operacional é revisto todos os trabalhadores que aplicam aquele procedimento são retreinados no novo procedimento?	☐	☐	☐
7.7- Os empregados estão treinados nos procedimentos de bloqueio e etiquetagem e isto é aplicado durante a manutenção?	☐	☐	☐
7.8- Os operadores foram treinados adequadamente na manutenção da unidade industrial?	☐	☐	☐
7.9- Os profissionais são treinados para atuar em situação de emergência?	☐	☐	☐
7.10- Quando um funcionário muda de cargo ele é treinado nas suas novas atividades?	☐	☐	☐
7.11- Em caso de novo equipamento ou nova tecnologia instalada, os funcionários foram/ são treinados para tal?	☐	☐	☐