



UFRJ

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

ESCOLA DE QUÍMICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

O PAPEL DAS ORGANIZAÇÕES NOS GRANDES

ACIDENTES DA INDÚSTRIA QUÍMICA

ANA CECÍLIA VARGUES ASSUMPÇÃO

BRUNA ROCHA DE CARVALHO

Projeto Final de Curso

Orientadores:

Carlos André Vaz Junior

Marina Heil Assunção

Rio de Janeiro

Janeiro de 2022

ANA CECÍLIA VARGUES ASSUMPÇÃO

BRUNA ROCHA DE CARVALHO

O PAPEL DAS ORGANIZAÇÕES NOS GRANDES

ACIDENTES DA INDÚSTRIA QUÍMICA

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Corpo docente da Escola
de Química, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Carlos André Vaz Junior

Co-orientador: Marina Heil Assunção

Rio de Janeiro

2022

**O PAPEL DAS ORGANIZAÇÕES NOS GRANDES
ACIDENTES DA INDÚSTRIA QUÍMICA**

Ana Cecília Vargues Assumpção

Bruna Rocha de Carvalho

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Química.

Aprovado por:

Bernardo Dias Ribeiro

Washington Barbosa

Orientado por:

Prof. Carlos André Vaz Junior, D.Sc.

Co-orientado por:

Marina Heil Assunção

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Janeiro de 2022

Agradecimentos

Agradecemos aos nossos familiares e amigos por estarem sempre ao nosso lado durante essa jornada. Não foi fácil porém, o apoio incondicional de todos foi o que nos ajudou a chegar até aqui.

Aos nossos professores por todo o conhecimento compartilhado conosco e a todos os funcionários da UFRJ que ajudam a manter essa instituição funcionando e tornaram possível a nossa educação.

Aos nossos orientadores pelo interesse no nosso projeto, tempo dedicado e por nos ajudarem a finalizar essa última etapa.

Eu, Ana, gostaria de agradecer em especial a minha mãe e irmã por serem a minha fortaleza. Aos meus amigos, Luiza por sempre ter me motivado nos momentos em que pensei desistir do curso e Eduardo, por ser minha alma gêmea. Ao meu namorado Caio por sempre acreditar no meu potencial e me fazer acreditar também. Amo vocês.

Eu, Bruna, agradeço ao meu pai por ser meu exemplo de ética e determinação. Aos meus amigos, Beatriz, Clarissa e Diego, pelas conversas que tanto me alegram e me enriquecem. Ao meu amado namorado Rogério, que luta diariamente ao meu lado e que durante a realização deste projeto trabalhou incansavelmente para me dar o apoio emocional que eu tanto precisava. Amo a todos infinitamente. Ainda, gostaria de agradecer a mim mesma, pois para ser capaz de realizar esse trabalho tive que dar início a um profundo, e muitas vezes doloroso, processo de autoconhecimento, o que me tornou uma pessoa melhor e mais feliz.

Por fim, gostaríamos de agradecer aos nossos amigos de faculdade, Angelo, Gabriel e Karolina, que estão ao nosso lado desde a primeira semana de aula. Obrigada por tornarem essa graduação mais leve e divertida, somos incríveis juntos!

Resumo

O presente trabalho aborda o tema de segurança de processos na indústria química, o qual possui imensurável importância para as empresas produzirem bens de consumo minimizando os riscos oferecidos a sua força de trabalho, à sociedade e ao meio ambiente, à medida que atuam proativamente na prevenção dos acidentes maiores. A partir desse tema tão abrangente, o objetivo do trabalho consiste em apresentar a criação e evolução dos sistemas de gerenciamento de segurança de processos dentro da indústria química no decorrer dos anos, utilizando para tal dois importantes acidentes: o vazamento de isocianato de metila (MIC) ocorrido em 1984 na planta da Union Carbide que produzia pesticidas em Bhopal, (Índia); e a explosão em uma refinaria da British Petroleum em Texas City (Estados Unidos) em 2005. Os eventos servirão como material de estudo e aplicação de uma das diretrizes de gerenciamento de segurança de processos disponíveis na literatura, o *Risk Based Process Safety* (RBPS), criado pelo Center of Chemical Process Safety (CCPS), centro responsável por desenvolver a segurança de processos na indústria química do American Institute of Chemical Engineers (AIChE). O trabalho foi realizado em duas etapas distintas de pesquisa, a descritiva e a exploratória. Na etapa descritiva, foi apresentado o conceito e contexto histórico de criação dos sistemas de segurança de processos, a teoria de gerenciamento de segurança de processo baseada em risco e a descrição dos aspectos relevantes à gestão de segurança de processos nos casos dos acidentes ocorridos em Bhopal e em Texas City, a partir de recursos de pesquisa bibliográfica e documental. Já a etapa exploratória foi realizada mediante estudos de caso dos acidentes citados, aplicando-se as diretrizes do RBPS nas análises, em uma abordagem qualitativa para a identificação de falhas cometidas pelas organizações no âmbito da gestão de segurança de processos. Por fim, essas falhas foram quantificadas para cada acidente e comparadas entre si. O paralelo gerou resultados que apontam um pior desempenho da gestão de segurança na planta de Bhopal, que apresentou falhas mais graves, bem como um número maior de elementos do sistema RBPS que falharam e de falhas identificadas no total. O trabalho também evidenciou as semelhanças entre os dois acidentes estudados: os elementos de Cultura de Segurança de Processos, Procedimentos Operacionais, Treinamento e Garantia de Desempenho, Prontidão Operacional e Investigação de Incidentes e Acidentes se apresentaram de maneira semelhante em ambos os casos. Os resultados obtidos foram utilizados para elaborar conclusões acerca dos avanços na aplicação da gestão de segurança de processos alcançados pela indústria química ao longo das décadas e das fraquezas em que as organizações incorrem de forma recorrente. Assim, evidenciaram-se pontos de melhorias para todo o segmento.

Palavras-chave: Sistemas de Gerenciamento de Segurança de Processos; RBPS; Bhopal; Texas City, metil isocianato; acidente industrial.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 - Reações Químicas envolvidas na Produção do Inseticida Sevin.....	11
Figura 2 - Evolução das Estratégias de Gestão de Segurança de Processos.....	20
Figura 3 - Pilares do RBPS.....	21
Figura 4 - Elementos e Pilares do Sistema de Gestão Baseado em Risco.....	22
Figura 5 - Correlação entre os Elementos Cumprimento das Normas e Auditoria.....	27
Figura 6 - Correlação entre Conhecimento de Processos, Competência em Segurança de Processos e Treinamento.....	28
Figura 7 - Níveis de Análise de Risco e Avaliação de Perigo.....	30
Figura 8 - Exemplo de Matriz de Treinamento.....	34
Figura 9 - Tarefas do Sistema de Treinamento.....	35
Figura 10 - Fluxograma de Atividades do Elemento Gestão de Mudanças.....	37
Figura 11 - Níveis de Análise da Investigação de Acidentes.....	40
Figura 12 - Atividades do Elemento Investigação de Incidente.....	41
Figura 13 - Linha do Tempo Caso Bhopal.....	44
Figura 14 - Reação de Obtenção do Carbaril.....	45
Figura 15 - Local do Armazenamento Subterrâneo de MIC.....	47
Figura 16 - Unidade de Armazenamento de MIC.....	48
Figura 17 - Tanque 610 e Conexões.....	51
Figura 18 - Lavador de Gases do Tipo <i>Scrubber</i> e Conexões.....	52
Figura 19 - Área Afetada Pelo Vazamento de Gás, Bhopal, 1984.....	55
Figura 20 - Reação do MIC com H ₂ O.....	58
Figura 21 - Reação de Trimerização do MIC.....	58
Figura 22 - Seção de Destilação de Refinado da Unidade de Isomerização.....	76
Figura 23 - Vista Superior da Unidade de Isomerização e seus Arredores.....	79
Figura 24 - Unidade de Isomerização após a Explosão.....	84

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

GRÁFICOS

Gráfico 1 - Acidentes Industriais Ampliados no Mundo por Período.....6

QUADROS

Quadro 1 - Elementos de Sistemas de Gestão de Segurança de Processos (CCPS, OSHA, EPA, ANP, ANAC).....14

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Acidentes Maiores Ocorridos nas Décadas de 60 e 70 na Europa	9
Tabela 2 – Principais falhas dos casos Bhopal e Texas.....	97

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACA	Apparent Cause Analysis
AIChE	American Institute of Chemical Engineers
AMOCO	American Oil Company
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANP	Agência Nacional do Petróleo
ARCO	Atlantic Richfield Company
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion
BP	British Petroleum
CBI	Indian Central Bureau of Investigation
CCPS	Center for Chemical Process Safety
CIPA	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes
CLT	Consolidação das Leis de Trabalho
COSCIP	Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico
CSB	Chemical Safety Board
DSO	Documentação de Segurança Operacional
EPA	Environmental Protection Agency
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GNV	Gás Natural Veicular
GOI	Governo da Índia

H2O	Água
HCN	Cianeto de Hidrogênio
HSE	Health Safety Executive
ICMESA	Industrie Chimiche Meda Societa Azionaria
ISO	International Standards Organization
ISOM	Isomerization Unit
KSAs	Knowledge, Skills and Abilities
LAH	Level Alarm High
LAL	Level Alarm Low
LOPA	Layers of Protection Analysis
MAH	Major Accident Hazard
MIC	Metil Isocianato
MMA	Monometilamina
MOC	Management of Change
NaOH	Soda Cáustica - Hidróxido de Sódio

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	5
3. SISTEMAS DE GESTÃO DE SEGURANÇA E PROCESSOS.....	6
3.1. Histórico.....	6
3.2. Legislação.....	7
4. SISTEMA DE SEGURANÇA DE PROCESSOS BASEADA EM RISCO (RBPS).....	17
4.1. Gestão de Segurança de Processo Baseada em Normas Técnicas.....	17
4.2. Gestão de Segurança de Processo Baseada em Conformidade.....	18
4.3. Gestão de Segurança de Processo Baseada em Melhoria Contínua.....	19
4.4. Gestão de Segurança de Processo Baseada em Risco.....	19
4.5. Conceito e Estrutura.....	20
4.6. Escopo e aplicação.....	22
4.7. Primeiro Pilar: Compromisso com a Segurança de Processos.....	24
4.7.1 Cultura de segurança de Processo.....	24
4.7.2. Cumprimento das Normas.....	26
4.7.3. Competência em Segurança de Processos.....	26
4.8. Segundo Pilar: Compreensão dos Perigos e Riscos.....	28
4.8.1. Identificação de Perigos e Análise de Riscos.....	29
4.9. Terceiro Pilar: Gerenciar Riscos.....	31
4.9.1. Treinamento e Certificação de Desempenho.....	33
4.9.2. Gestão de Mudanças (MOC).....	36
4.10. Quarto Pilar: Aprender com a Experiência.....	37
4.10.1. Investigação de Acidentes e Incidentes.....	39
5. VAZAMENTO DE ISOCIANATO DE METILA (MIC) NA UCIL, BHOPAL, 1984.....	42
5.1. Histórico.....	42
5.2. O Processo.....	44
5.2.1. Produção de Sevin.....	45
5.2.2. Produção de MIC.....	45
5.2.3. Unidade de armazenamento de MIC e salvaguardas.....	46
5.3. O Acidente.....	48
5.3.1. Condições de operação, equipamentos e sistemas de segurança no dia 2 de dezembro 1984.....	48
5.3.2. Cronologia do acidente.....	50

5.4. Impactos.....	54
5.5. Investigações.....	56
6. ANÁLISE DE FALHAS NO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS RBPS NO ACIDENTE DE BHOPAL.....	59
6.1. Cultura de Segurança.....	59
6.2. Conformidade com Padrões e Normas.....	60
6.3. Competência em Segurança de Processo.....	61
6.4. Envolvimento da Força de Trabalho.....	62
6.5. Abrangência às partes interessadas.....	63
6.6. Gestão do Conhecimento de Processo.....	64
6.7. Identificação de Perigos e Análises de Risco.....	64
6.8. Procedimentos Operacionais.....	65
6.9. Práticas de Trabalho Seguro.....	66
6.10. Integridade de Ativos e Confiabilidade.....	66
6.11. Gestão de Contratadas.....	67
6.12. Treinamento e Garantia de Desempenho.....	67
6.13. Gerenciamento de Mudanças (MOC).....	67
6.14. Prontidão Operacional.....	68
6.15. Condução das Operações.....	69
6.16. Gerenciamento de Emergências.....	69
6.17. Investigação de Acidentes e Incidentes.....	69
6.18. Indicadores e Monitoramento.....	70
6.19. Auditorias.....	70
6.20. Avaliação da Gestão e Melhoria Contínua.....	70
7. EXPLOSÃO NA REFINARIA DA BP, TEXAS, 2005.....	71
7.1. Histórico.....	71
7.2. O Processo.....	75

7.2.1. Equipamentos.....	75
7.2.2. Salvaguardas.....	77
7.3. O Acidente.....	78
7.3.1. Condições de operação, equipamentos e sistemas de segurança do dia 23 de março de 2005.....	78
7.3.2. Cronologia do acidente.....	81
7.4. Impactos.....	83
7.5. Investigações.....	83
8. ANÁLISE DE FALHAS NO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS RBPS NO ACIDENTE DE TEXAS CITY.....	86
8.1. Cultura de Segurança.....	86
8.2. Conformidade com Padrões e Normas.....	87
8.3. Competência em Segurança de Processo.....	88
8.4. Envolvimento da Força de Trabalho.....	88
8.5. Abrangência às partes interessadas.....	89
8.6. Gestão do Conhecimento de Processo.....	89
8.7. Identificação de Perigos e Análises de Risco.....	90
8.8. Procedimentos Operacionais.....	90
8.9. Práticas de Trabalho Seguro.....	91
8.10. Integridade de Ativos e Confiabilidade.....	91
8.11. Gestão de Contratadas.....	91
8.12. Treinamento e Garantia de Desempenho.....	92
8.13. Gerenciamento de Mudanças (MOC).....	92
8.14. Prontidão Operacional.....	93
8.15. Condução das Operações.....	93
8.16. Gerenciamento de Emergências.....	93
8.17. Investigação de Acidentes e Incidentes.....	94

8.18. Indicadores e Monitoramento.....	94
8.19. Auditorias.....	95
8.20. Avaliação da Gestão e Melhoria Contínua.....	95
9. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	96
10. CONCLUSÃO.....	101
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103

1. INTRODUÇÃO

Após a II Guerra Mundial, foi possível observar um crescimento acelerado da Indústria Química. Uma combinação de fatores como aumento da demanda por novos produtos químicos, competitividade do setor, crescimento da economia mundial e desenvolvimento tecnológico tornou possível a ampliação das dimensões das plantas industriais e complexidade dos processos produtivos (Freitas; Porto; Machado, 2000).

Uma planta utilizada para craquear Nafta e produzir 50 mil toneladas/ano de etileno era considerada de grande porte na década de 1960. Já na década de 1980, plantas de produção de etileno estavam superando a marca de 1 milhão de toneladas. Transporte e armazenamento também cresceram no mesmo ritmo: no pós-guerra, a capacidade dos navios petroleiros passou de 40 mil para 500 mil toneladas. Nesse mesmo período, a comercialização global de produtos químicos orgânicos passou de 7 milhões de toneladas em 1950 para 63 milhões em 1970, 250 milhões em 1985 e 300 milhões em 1990 (Freitas; Porto; Machado, 2000).

Como consequência do acelerado crescimento da indústria, ocorreu o crescimento do número de acidentes na mesma. Acidentes considerados muito graves, com cinco óbitos ou mais, mais do que triplicaram e passaram de 20 entre os anos de 1945 e 1951 para 66 entre 1980 e 1986 (Freitas; Porto; Machado, 2000). Alguns acidentes ganharam notoriedade por conta de seus graves impactos socioeconômicos e ambientais.

Entre alguns dos acidentes mais conhecidos da história estão os de Flixborough na Inglaterra em 1974, Seveso na Itália em 1976, Bhopal na Índia em 1984 e Texas City (EUA) em 2005. Estes ganharam notoriedade pelas vidas perdidas, além de extrapolarem as divisas das fábricas e causarem impactos de médio a longo prazo nas comunidades vizinhas e meio ambiente em seus entornos (Estrada, 2008).

Os acidentes, chamados de acidentes maiores, causaram impacto para as empresas e principalmente para a sociedade, o que gerou grande comoção e preocupação acerca da segurança da indústria. Dessa forma, os acidentes maiores impulsionaram os governos a criarem um sistema legislativo para o tema. O acidente de Seveso foi determinante para a criação da primeira legislação internacional sobre prevenção de acidentes maiores em 1982, a Diretiva 82/501/ECC, mais conhecida como Diretiva Seveso, criada pela então Comunidade Europeia.

Na década de 90, após tantos acidentes de grandes proporções, tornou-se cada vez mais necessário estabelecer normas internacionais para sistemas de gestão de segurança eficientes que as empresas ao redor do mundo pudessem seguir. Com essa demanda, órgãos e instituições começaram a desenvolver e publicar normas e guias com diretrizes para sistemas de gestão de segurança. (Estrada, 2008).

Alguns exemplos importantes são o *Process Safety Management* (PSM), publicado pela *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) em 1992, e o *Risk management plan* (RMP), publicado pela Environmental Protection Agency dos EUA (EPA) em 1996.

O acidente ocorrido em Bhopal, na Índia, em 1984, foi o acidente mais grave da indústria química, o que levou o *American Institute of Chemical Engineers* (AIChE) a criar o *Center for Chemical Process Safety* (CCPS). O CCPS tem como objetivo desenvolver e disseminar conhecimentos técnicos para a prevenção de acidentes na indústria. Sua maior contribuição ao meio tem sido a publicação de diretrizes usadas na implementação de sistemas de gestão de segurança de processos (CCPS, 2014).

Sistemas de gestão de segurança eficientes são responsáveis pela prevenção de acidentes e otimização da performance de processos industriais. Embora já estivesse em prática há algumas décadas, pôde-se observar uma certa estagnação das empresas na área. A falta de evolução levou a CCPS a publicar o livro *Diretrizes para Segurança de Processos Baseada em Risco* (CCPS, 2007).

Essas diretrizes têm como propósito ajudar empresas a desenvolver e implementar sistemas de gestão de segurança mais eficientes, visando reconhecer que nem todos os problemas e riscos dentro de uma planta são da mesma magnitude e, portanto, não podem ser abordados de formas iguais. Uma abordagem baseada em risco se propõe a otimizar a utilização de recursos (CCPS, 2007).

A análise de segurança de processos baseada em risco de acidentes de grande impacto socioeconômicos e ambientais pode nos ajudar a compreender as falhas organizacionais que levaram a tais acidentes, para que os mesmos erros não sejam cometidos novamente, além de permitir a aplicação teórica de uma das mais recentes tecnologias de gerenciamento de segurança de processos disponíveis na literatura.

No presente trabalho, cada capítulo vai cumprir um propósito para que seja possível alcançar o objetivo principal, que será avaliar e comparar quais falhas em segurança de processos foram cometidas no passado e quais ainda são encontradas em casos mais recentes da história da indústria.

O capítulo três tem a finalidade de contextualizar o leitor sobre o tema sistemas de segurança de processos. Iniciamos com a contextualização histórica acerca da demanda que surgiu com a industrialização da sociedade moderna e citamos o grande aumento que foi registrado de acidentes e da gravidade deles. Em seguida, será explicado como surgiram as primeiras leis ligadas à saúde e segurança do trabalho e como se desenvolveu, ao longo dos anos, a legislação ligada à segurança de processos e qual foi o papel dos grandes acidentes na elaboração de tais leis. Serão citados também alguns exemplos de regulamentação brasileira, como o Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional (SGSO) da ANP e ANAC. O capítulo termina apresentando como o RBPS,

ferramenta utilizada em nossas análises, surgiu como tecnologia e quais foram suas principais bases literárias e motivações.

O capítulo quatro tem como objetivo principal explicar a metodologia de gestão de segurança de processos baseada em risco criada pela CCPS. Para que o objetivo seja alcançado, o capítulo inicia explicando o conceito mais importante para o entendimento sobre o que é um sistema de gestão de segurança de processos baseado em risco, a definição de segurança de processos. A partir de então, é apresentada a evolução das estratégias de gestão de segurança de processos, sendo a última delas a baseada em risco. Nesse caso, é exposta não só a explicação do seu conceito, mas também uma visão crítica acerca de suas possíveis fraquezas. Em seguida, o conceito e a estrutura, assim como o escopo e aplicação do RBPS, são apontados. Citamos então os três principais critérios que devem ser considerados ao se aplicar a metodologia: Risco, Demanda e Cultura. Ao final do capítulo há quatro seções, cada uma destinada a um bloco do RBPS, em que é explicado o objetivo principal de cada bloco e o papel de cada elemento para que esse objetivo seja atingido. Em cada seção, alguns elementos foram selecionados para serem mais detalhados por meio da explicação dos principais conceitos, objetivos e atividades.

O capítulo cinco foi desenvolvido para apresentar o acidente de vazamento de isocianato de metila (MIC) que ocorreu em Bhopal em 1984, para que o material fosse utilizado como insumo para nossa análise aplicando o RBPS. Inicialmente, será apresentado o histórico da empresa e da planta de pesticidas e serão citados marcos pertinentes à segurança de processos que ocorreram. Em seguida, será explicado como se dava o processo envolvido diretamente com o acidente, explicitando a rota tecnológica que era utilizada, os equipamentos e as salvaguardas. E, antes de ser apresentada a cronologia do acidente, serão contextualizadas as condições operacionais e estruturais da instalação no dia anterior ao acidente, devido a sua pertinência para a análise realizada posteriormente. Finalmente, será apresentada a hipótese mais aceita pelo meio acadêmico da cronologia do acidente. Ao final do capítulo, os impactos são listados e os pontos mais relevantes das investigações que foram conduzidas são apontados.

O capítulo seis tem como objetivo principal realizar um diagnóstico, utilizando a metodologia RBPS, das falhas descritas no capítulo anterior. Isso é realizado pontuando em cada um dos 20 elementos as falhas pertinentes a ele e o embasamento teórico para tal diagnóstico.

O capítulo sete volta a apresentar um acidente marcante da história: agora se trata da explosão ocorrida na refinaria da BP em Texas City, em uma data mais próxima dos dias atuais (março de 2005). O objetivo do capítulo é o mesmo daquele apresentado para o capítulo cinco, ou seja, apresentar os fatos do acidente pertinentes para a análise posterior do caso. Assim, a estrutura de ambos os capítulos será a mesma: descreveremos o histórico da empresa BP e da instalação, o processo, incluindo equipamentos e salvaguardas, as condições operacionais em que se encontrava a instalação no período em que ocorreu o acidente, a cronologia, os impactos e as principais descobertas da investigação conduzida pela *Chemical Safety Board* (CSB).

Novamente o capítulo oito tem como objetivo analisar o acidente de Texas City sob a perspectiva da metodologia RBPS e comparar com a análise apresentada no capítulo seis. Dessa forma, além de explicitar para cada elemento quais foram suas falhas, o texto compara se as falhas cometidas foram iguais ou diferentes das encontradas na análise de Bhopal e, em alguns casos, se o elemento teve uma melhor ou pior performance.

No capítulo nove é onde os resultados são sintetizados em uma tabela comparativa entre os casos de Bhopal e Texas City, de modo a facilitar a visualização para que discussões sejam levantadas sobre os resultados obtidos.

Finalmente o capítulo dez traz as principais considerações gerais acerca do trabalho e o que acreditamos ser sua relevância.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho será apresentar a criação e a evolução dos sistemas de gerenciamento de segurança de processos dentro da indústria química. Utilizaremos para tal dois importantes acidentes, que ocorreram em diferentes períodos da história, como material de estudo e aplicação das diretrizes RBPS, a fim de comparar a evolução do tema segurança de processos apresentada pelas organizações ao longo dos anos.

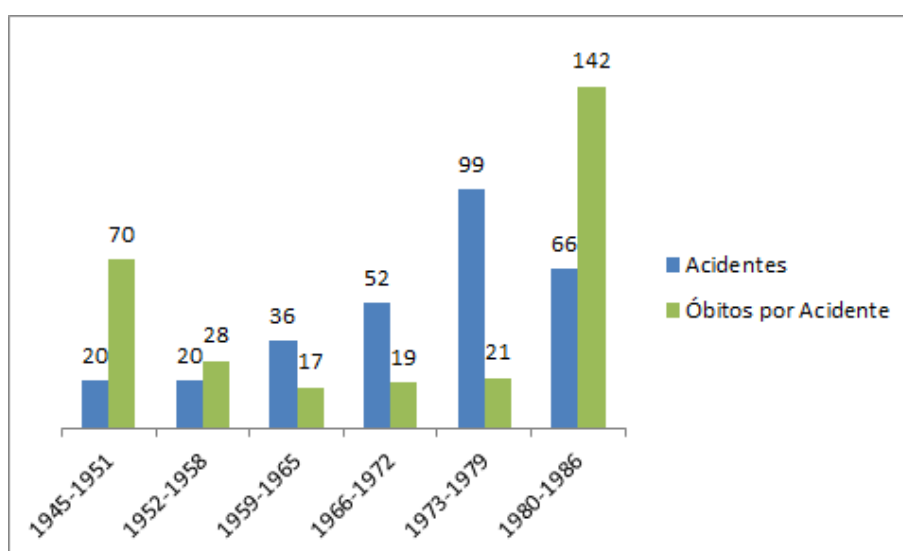
3. SISTEMAS DE GESTÃO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS

3.1. Histórico

O acidente industrial surgiu como consequência do processo de industrialização da sociedade moderna. A primeira Revolução Industrial, iniciada com a adoção da tecnologia de máquinas a vapor, registrou, na Grã-Bretanha, entre os anos de 1817 e 1838, 23 explosões, as quais incorreram em 77 óbitos (Freitas; Porto; Machado, 2000). Nos EUA, o cenário foi mais grave, em parte pelo emprego de uma pressão mais alta nas máquinas a vapor: registraram-se 14 explosões apenas no ano de 1836, tendo como consequência 496 óbitos (Freitas; Porto; Machado, 2000). Entretanto, mesmo envolvendo um grande número de fatalidades, os acidentes dessa era, que em sua maioria envolviam máquinas a vapor e minas de carvão, tinham sua extensão de gravidade restritas ao espaço e tempo do evento, diferentemente do que pode ser observado em acidentes químicos e nucleares. Dessa forma, os acidentes industriais ampliados surgem como consequência da expansão do consumo e produção de substâncias químicas em escala mundial (Freitas; Porto; Machado, 2000).

A Segunda Guerra Mundial provocou um aumento na demanda por tais produtos químicos. Esse cenário foi acompanhado por uma importante mudança na base energética utilizada, que passou do carvão para o petróleo. Esses fatores impulsionaram o desenvolvimento dos processos químicos produtivos e a expansão de complexos químicos industriais. Os processos começaram a se tornar cada vez mais complexos. Consequentemente, foi observado um aumento na frequência e na gravidade dos acidentes químicos após o período. O gráfico 1 ilustra o cenário em que o número de acidentes por período passou de 20 entre 1945 e 1951 para 66 entre 1980 e 1986, e a gravidade dos casos também escalou de 70 óbitos em média por acidente no primeiro período para 142 na década de 80 (Freitas; Porto; Machado, 2000).

GRÁFICO 1 - ACIDENTES INDUSTRIAIS AMPLIADOS NO MUNDO POR PERÍODO



Fonte: Elaborada pelos autores com base em Freitas; Porto; Machado, 2000.

3.2. Legislação

Apesar de a primeira revolução industrial ter sido iniciada por volta de 1760, foi apenas em 1802 que a primeira legislação referente a condições de trabalho na indústria foi aprovada no Reino Unido. A Lei de Saúde e Moral dos Aprendizes (*Health and Morals of Apprentices Act*), introduzida por Sir Robert Peel, membro do Parlamento britânico e um rico dono de fábrica do segmento têxtil, impedia que jovens de até 21 anos trabalhassem no turno da noite e por mais de 12 horas, assim como previa que recebessem educação básica (UK Parliament, c2021). Essa lei, mesmo que direcionada a apenas uma parcela da força de trabalho, é por muitos considerada o marco inicial da regulamentação em saúde e segurança do trabalho (Cameron; Stay Safe, c2021).

Entretanto, por falta de um sistema de inspeção adequado, essa primeira lei não era respeitada. Em 1833, o Parlamento britânico aprovou a Lei das Fábricas (*Factory Act*), que, além de estabelecer uma idade mínima para o trabalhador e carga horária reduzida para os mais jovens, contou também com a criação do cargo de inspetor fabril. A resolução, mesmo tendo sido implantada de forma tímida, com apenas quatro inspetores para cerca de 4000 fábricas têxteis, marcou o início de um sistema de inspeção governamental na indústria (UK Parliament, c2021).

Nas décadas seguintes, o Parlamento britânico aprovou novas leis fabris, abrangendo no escopo da legislação todo o setor industrial (não só a produção têxtil) e estendendo consideravelmente os regulamentos de segurança criados anteriormente (UK Parliament, c2021).

Um ano após a Primeira Guerra Mundial, em 1919, foi criada, pela Organização das Nações Unidas, a Organização Internacional do Trabalho (OIT). Atualmente composta por 187 Estados-membros, sendo o Brasil um dos membros fundadores, a OIT já adotou 189 Convenções Internacionais de Trabalho e 205 recomendações que tratam de diversos temas, incluindo saúde e segurança no trabalho (OIT, []).

Em 1970, o ato de Saúde e Segurança Ocupacional (*Occupational Health and Safety Act*) foi aprovado nos Estados Unidos, influenciando na criação de um decreto com o mesmo nome no Reino Unido em 1974. Tais atos deram origem a agências reguladoras, como a *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) nos Estados Unidos e a *Health and Safety Executive* (HSE) no Reino Unido, responsáveis por criarem normas e padrões que configuram a base para a legislação atual em saúde e segurança no trabalho praticada ao redor do mundo (Cameron; Stay Safe, c2021). Exemplos de tal referência são as normas criadas pela OSHA, dentre as quais podemos citar a norma de limite de exposição ao amianto, o estabelecimento de um sistema de comunicação de perigos de produtos químicos (*Hazard Communication standard*) e a regulamentação do trabalho em espaços confinados (OSHA, 2010).

A tabela 1 descreve e lista aspectos importantes dos principais acidentes químicos ampliados ocorridos nas décadas de 60 e 70 na Europa, que resultaram na primeira iniciativa internacional de

legislação para a prevenção de acidentes maiores, a Diretiva 82/501/ECC, mais conhecida como Diretiva Seveso, criada pela então Comunidade Europeia (Rocha; Costa; Godin, 2006).

Dentre os acidentes apresentados na tabela 1, o ocorrido em Seveso, apesar de não ter ocasionado mortes, foi o que gerou maior repercussão na legislação europeia, por sua grande extensão de danos à saúde coletiva e ao meio ambiente. Devido a tal relevância, o evento será mais detalhado a seguir.

O desastre de Seveso, em 1976, ocorreu devido a vazamento de substância química perigosa, o 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina (TCDD), na indústria química ICMESA, localizada em Meda, Itália. A planta produzia 2,3,4-triclorofenol (TCP) como intermediário para a produção de bactericidas como o hexaclorofeno, usado em fármacos e cosméticos. O processo de batelada era dividido em duas etapas. A primeira consistia na hidrólise alcalina com soda cáustica do 2,4,5 triclorofenol (TCB). Utilizava-se etilenoglicol e xileno como solventes para produzir o intermediário 2,4,5-Triclorofenato de sódio (2,4,5-Na TCP) ($T=160^{\circ}\text{C}$; $P=12\text{ bar}$; $t=6-8\text{ h}$). Em seguida, com a finalidade de recuperar o solvente, todo o xileno e parte do glicol eram separados por destilação a vácuo. Para a segunda etapa, a mistura remanescente era previamente diluída e então acidificada adicionando-se solução aquosa de ácido clorídrico, que produzia então TCP como produto da hidrólise ácida do 2,4,5-Na TCP. O TCP bruto produzido era em seguida lavado com água e refinado por destilação a vácuo para obtenção do produto final (Fabiano et al., 2017).

No dia 9 de julho de 1976, uma sexta-feira, foi iniciado o ciclo de produção de TCP às 16 horas, com 10 horas de atraso. Às 5 da manhã de sábado, a primeira etapa do processo havia sido concluída até a completa destilação do xileno e de apenas 15% do etilenoglicol, percentual que não atendia ao padrão de 50% usualmente praticado. O reator e a agitação foram desligados, sem que qualquer resfriamento fosse conduzido, para a parada de produção do final de semana. A mistura que restou no reator sofreu instabilidade térmica. Em temperaturas acima de 180°C , a reação exotérmica de condensação do 2,4,5-Na TCP e formação de TCDD é favorecida. Às 12:37, a pressão interna do reator excedeu 3,5 atm e rompeu o disco de alívio de pressão, liberando por cerca de 20 min aproximadamente 2 kg de TCDD, formando uma nuvem tóxica, que, carregada pelo vento, atingiu Seveso em maiores concentrações do que as regiões vizinhas atingidas. Em poucas horas, pequenos animais morreram, e, em alguns dias, crianças apresentavam problemas intestinais e queimaduras na pele. Entretanto, foi apenas nove dias depois que a empresa comunicou a presença da dioxina no vazamento; 14 dias depois do evento, foi iniciada a evacuação da população (Fabiano et al., 2017).

TABELA 1 - ACIDENTES MAIORES OCORRIDOS NAS DÉCADAS DE 60 e 70 NA EUROPA

Ano	1966	1974	1975	1976
Corporação	Elf Refinery	Nypro (UK) Ltd	Dutch State Mines	ICMESA, Hoffman-La Roche
Descrição	Vazamento de GLP de uma esfera de armazenamento pressurizada que encontrou ignição em um carro que circulava em uma rodovia próxima e causou BLEVE de duas esferas e o rompimento de três outras.	Vazamento de ciclohexano por uma rachadura na tubulação instalada em caráter temporário e ignição da nuvem formada, incorrendo em explosão e incêndio que destruiu completamente a planta.	Vazamento de hidrocarbonetos leves durante a partida do processo de craqueamento de nafta em uma planta de produção de etileno. A nuvem de vapor formada encontrou uma fonte de ignição e provocou explosão e diversos incêndios.	Vazamento de dioxina e contaminação de uma extensa região rural que causou grandes impactos ambientais e danos à saúde da população em curto e longo prazo.
Região Afetada	Feyzin, FRA	Flixborough, GBR	Beek, NED	Seveso, Meda, Cesano Maderno e Desio; ITA
Extensão (Km ²)	N.E	0,04	N.E	18
Substância Química perigosa	GLP	Ciclohexano	HCs, principalmente propeno	Dioxina (TCDD)
Quantidade Liberada	4539 ton. (aprox.)	30 ton. (Aprox.)	5,5 ton (Aprox.)	2 kg (aprox.)
Óbitos	18	28	14	0
Feridos	84	36	107	N.E
População Afetada	N.E	53	3	36.120
Danos à saúde	Morte; Queimaduras; Ferimentos de impacto com objetos volantes.	Morte; Queimaduras; Ferimentos de impacto com objetos volantes.	Morte; Queimaduras; Ferimentos de impacto com objetos volantes.	Cloracne (Imediato); Câncer
Danos ao meio ambiente	N.E	N.E	N.E	81000 (aprox.) Animais mortos/ sacrificados; Morte da vegetação na região afetada; Contaminação do solo; Contaminação da cadeia alimentar;

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Ministério do Meio Ambiente da França (2008), Atherton e Gil (2008), Fabiano et al., (2017) e Lees (2005). N.E: Informação não encontrada na literatura.

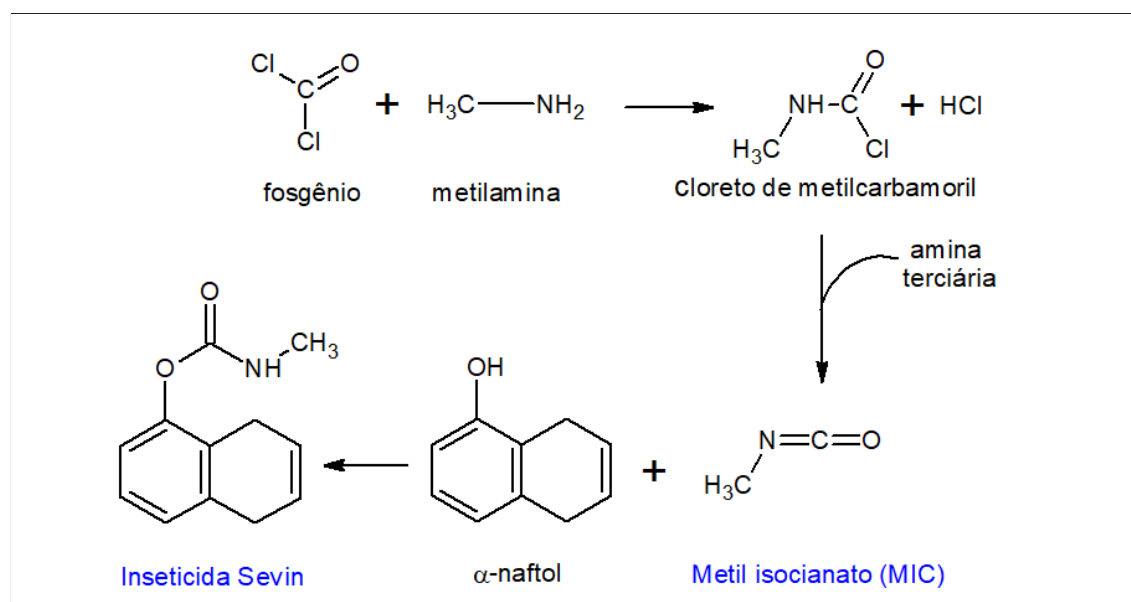
Dessa forma, o evento é considerado como o desastre da informação e ressaltou a importância da comunicação para que uma eficiente e rápida resposta de emergência seja conduzida, a fim de minimizar danos e restabelecer a comunidade e região afetada. Em 1982, a partir da experiência obtida com o evento de Seveso, a Diretiva que ficou conhecida pelo mesmo nome obrigou os países da Comunidade Europeia a adotarem em suas legislações nacionais medidas de prevenção, comunicação e minimização de impactos de acidentes ampliados para os trabalhadores, público e meio ambiente. O artigo 8 da Diretiva foi considerado inovador, pois previa o fornecimento de informação preventiva e treinamento de planos de emergência com as comunidades do entorno dos parques industriais que pudessem ser afetadas por acidentes ampliados. Considerava-se pela primeira vez a segurança de pessoas externas à instalação. Outro aspecto importante da Diretiva foi a inclusão de provisões que viabilizassem uma contínua atualização e revisão da mesma. Previa-se a troca de informações entre Estados-membros e a Comissão acerca de experiências adquiridas, bem como o estabelecimento de reuniões regulares do Comitê de Autoridades Competentes. Como resultado, duas emendas foram adicionadas à Diretiva original no decorrer dos seis anos seguintes à sua implantação, e, em 1996, em vista das lições aprendidas por meio de acidentes como Bhopal, ela foi substituída pela Diretiva 96/82/EC, conhecida como Seveso II. Esta apresentava inovações como a disponibilização ao público de parte dos relatórios de segurança das empresas e maior participação do mesmo nos planejamentos emergenciais (Freitas; Porto; Machado, 2000). Novamente em 2012, a Diretiva foi alterada e resultou na Seveso III, ou Diretiva 2012/18/EU, consequência principalmente da mudança da legislação Europeia sobre a classificação de produtos químicos perigosos. Com Seveso III, ampliaram-se os direitos do cidadão à informação e à justiça (European Commission, []).

Outro acidente que influenciou fortemente a criação de novas legislações e metodologias para prevenção de acidentes maiores foi o ocorrido em Bhopal na década de 80. Por volta da meia-noite do dia 3 de dezembro de 1984, nos arredores da filial de Bhopal da multinacional norte-americana Union Carbide, uma nuvem tóxica de metil isocianato (MIC) iniciava o envenenamento da população local. A planta produzia o pesticida Sevin por meio de um processamento químico envolvendo duas reações principais: a síntese de MIC, a partir da reação entre gás fosgênio e metilamina, e a síntese do produto Sevin, a partir da reação entre o MIC e o α -naftol (Chemello, 2010). A figura 1 apresenta as reações químicas envolvidas na produção do pesticida Sevin.

A toxicidade e a letalidade provocadas pelo reagente fosgênio eram bastante conhecidas na época, por ter sido a substância utilizada como arma química na Primeira Guerra Mundial. Por isso, esse composto era armazenado em pequenas quantidades suficientes para a síntese de curtos períodos de produção. Em contrapartida, o intermediário MIC era armazenado em estado líquido em três tanques com capacidade de armazenamento de 60 toneladas cada. Durante um procedimento de manutenção, possivelmente ocorreu o entupimento da tubulação em decorrência dos resíduos escoados na lavagem; a água adicionada escoou no sentido contrário e entrou no tanque de armazenagem de MIC, que não foi previamente isolado como previa o procedimento operacional

padrão. O componente altamente reativo em contato com água reage de forma exotérmica (Chemello, 2010). O calor gerado na reação implicou a vaporização do MIC e o aumento da pressão interna do tanque, rompendo a válvula de alívio e liberando cerca de 30 toneladas durante 45 a 60 minutos aproximadamente. O gás, mais pesado que o ar, rapidamente se propagou para as comunidades dos arredores em uma nuvem rente ao solo, matando cinco mil pessoas dentro de dois dias e posteriormente atingindo um total de 20 mil óbitos. A soma da população exposta ao gás chegou à marca de 200 mil, e mais de 60 mil demandaram tratamento médico de longo prazo. Até hoje, Bhopal representa o pior acidente químico industrial da história (Varma e Varma, 2005).

FIGURA 1 - REAÇÕES QUÍMICAS ENVOLVIDAS NA PRODUÇÃO DO INSETICIDA SEVIN



Fonte: (Chemello, 2010)

O desastre foi um marco que demandou uma resposta de toda a indústria química. Durante muito tempo, a estratégia adotada pelas empresas para prevenção de acidentes era pontual e focada na melhoria de dois fatores: humano e tecnológico (CCPS, 2007). Pouco menos de quatro meses depois do acidente, no dia 25 de março de 1985, foi criado o Centro de Segurança em Processos Químicos (CCPS) pelo Instituto Americano de Engenheiros Químicos (AIChE). A CCPS foi formada para desenvolver e disseminar, juntamente com agências governamentais, consultores, universidades e seguradoras, o tema segurança de processos na indústria química. Desde sua criação, a organização reconheceu que uma estratégia focada apenas em avanços tecnológicos e soluções técnicas em segurança de processos não seria suficiente para evitar acidentes como o ocorrido em Bhopal. A fim de incentivar e instruir a indústria a tratar o tema de forma mais integrada, a CCPS desenvolveu então o programa de gerenciamento de segurança de processos (PSM), que incorporou princípios de gestão a elementos técnicos de segurança de processos (Schreiber, 1991).

Além dessa iniciativa, medidas regulamentadoras importantes surgiram após Bhopal. Em 1990, as novas emendas do *Clean Air Act* foram aprovadas nos EUA e desempenharam um papel vital na

evolução de legislações de segurança de processo. A seção 304 da emenda autorizou a OSHA a lançar o regulamento de Gestão de Segurança de Processo de Produtos Químicos Altamente Perigosos (PSM), implementado como regulamento em 1992. E, por meio da seção 112 (r), demandou-se da Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA) a publicação de regulamentos e orientações para prevenção de acidentes químicos em instalações industriais de manuseio de substâncias químicas perigosas. As novas normas resultaram no desenvolvimento do regulamento do Plano de Gerenciamento de Riscos (RMP), aprovado em 1996. O PSM da OSHA é composto por 14 elementos e tem como objetivo principal prevenir futuros incidentes e acidentes. O RMP da EPA contém 11 elementos e foi propositalmente desenvolvido para ser similar ao da OSHA, de forma a facilitar o atendimento de ambos os regulamentos pelas empresas. Mas, apesar dos dois programas possuírem uma estrutura similar, o RMP se diferencia do PSM por ter sido criado com foco principal na proteção do meio ambiente e da comunidade do entorno industrial. Por esse motivo, os elementos do RMP possuem características que visam integrar, de forma responsável, a área industrial com o meio ambiente e a comunidade externa. Por exemplo, o elemento de Resposta Emergencial do RMP implica o treinamento coordenado entre funcionários, comunidade e agências de resposta à emergência; o elemento Documentação exige o compartilhamento de documentos de processos pertinentes com o governo e o público, e seu elemento de Análise de perigos foca principalmente nas consequências externas à instalação em potenciais casos de vazamentos de substâncias químicas (Besserman e Mentzer 2017).

No Brasil, a Agência Nacional de Petróleo (ANP) instituiu em 2007 o primeiro regulamento de segurança operacional do país, aplicável às instalações marítimas de perfuração e produção de petróleo e gás natural. Denominado de Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional (SGSO), o regulamento consiste de 17 práticas de gerenciamento voltadas para a melhoria contínua do desempenho e gestão de risco dentro das instalações (Governo do Brasil, 2020). As práticas do sistema são divididas em três grandes grupos: o primeiro reúne nove práticas referentes à Liderança, Pessoal e Gestão; o segundo agrupa cinco das atividades relativas a Instalações e Tecnologia; e o terceiro contém três práticas classificadas como Práticas Operacionais (ANP, 2007).

Além de garantir a implantação e bom funcionamento do sistema, que estará sujeito a fiscalização para identificação de não conformidade, a empresa deve submeter à ANP a Documentação de Segurança Operacional (DSO), comprovando que mantém o controle dos riscos advindos de suas operações (ANP, 2007).

Outra agência reguladora brasileira que implementou um sistema de gerenciamento de segurança operacional foi a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) em 2013. O sistema implantado pela ANAC ampliou o conceito de segurança na aviação civil para uma abordagem sistêmica de modo a abranger não só fatores tecnológicos e humanos, mas também os organizacionais, já que, a partir de análises de acidentes, foram reveladas inúmeras oportunidades de ações relacionados às decisões organizacionais que poderiam ter quebrado cadeias de eventos que levaram à ocorrência de um acidente. O Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional (SGSO) da ANAC foi

projetado para substituir o pensamento reativo (baseado apenas em responder a acidentes e incidentes passados) pelo preditivo, que utiliza tanto eventos passados como também a documentação de desempenho do presente para a identificação de potenciais riscos que levariam a ocorrência de acidentes no futuro. O sistema, estruturado em treze elementos, possui também a característica de ser adaptável em termos de complexidade, limitação de recursos e possíveis mudanças e promove a melhoria contínua da segurança por meio da coleta proativa de dados (Governo do Brasil, 2016).

Retornando aos sistemas de gerenciamento de segurança de processos americanos, país de origem das empresas responsáveis pelos acidentes analisados neste trabalho, segundo a CCPS (2007), após a onda de implementação dos sistemas PSM e RMP na década de 90, o gerenciamento de segurança começou a estagnar em diversas organizações, resultando em incidentes e acidentes com causa raiz no desempenho insuficiente do sistema de gestão. Por esse motivo, a CCPS publicou em 2007 a nova geração de sistema de gerenciamento de segurança de processos, o gerenciamento de segurança baseado em risco (RBPS), para incentivar a indústria química a retomar o foco e a ênfase em buscar a excelência em segurança de processos. O RBPS contém 20 elementos e foi desenvolvido com base no PSM da CCPS, publicado em 1989 (CCPS,2007).

O Quadro 1 lista os elementos de cada um dos sistemas de gerenciamento de segurança de processo mencionados anteriormente e coloca lado a lado os elementos que possuem similaridades dos diferentes sistemas

QUADRO 1 - ELEMENTOS DE SISTEMAS DE GESTÃO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS (CCPS, OSHA, EPA, ANP, ANAC)

PSM CCPS	PSM OSHA	RMP EPA	SGSO ANP	SGSO ANAC
Responsabilidade: Objetivos e Metas			Cultura de Segurança, Compromisso e Responsabilidade Gerencial	Responsabilidade e Compromisso da Administração
				Responsabilidades da Direção acerca da Segurança Operacional
				Plano de Implantação do SGSO
	Participação de Funcionários		Envolvimento do Pessoal	Estrutura organizacional e os responsáveis (pessoal-chave) pela segurança operacional em suas atividades
Integridade de Processo e Equipamentos	Integridade Mecânica	Manutenção	Integridade Mecânica	
Melhoria do Conhecimento de Segurança de Processo	Informação de Segurança de Processo	Informação de Segurança de Processo	Gestão da Informação e da Documentação	
Análise do Projeto de Capital e Procedimentos de Projeto				
	Autorizações de Trabalho a Quente		Práticas de Trabalho Seguro e Procedimentos de Controle em Atividades Especiais	
	Análise de Perigos de Processo	Análise de Perigo		Processos de identificação de perigos
Gestão de Risco		Análise de risco	Identificação e Análise de Riscos	Processos de avaliação e mitigação dos riscos
Gestão de Mudanças	Gestão de Mudanças	Gestão de Mudanças	Gerenciamento de Mudanças	Gerenciamento da mudança
Documentação de Processo				Documentação

QUADRO 1 - ELEMENTOS DE SISTEMAS DE GESTÃO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS (CCPS, OSHA, EPA, ANP, ANAC)

PSM CCPS	PSM OSHA	RMP EPA	SGSO ANP	SGSO ANAC
	Procedimentos operacionais	Procedimentos Operacionais Padrão	Procedimentos Operacionais	
Investigação de Incidentes	Investigação de Incidentes	Investigações de Acidentes	Investigação de Incidentes	
Treinamento e Medição de Desempenho	Treinamento	Treinamento	Qualificação, Treinamento e Desempenho do Pessoal	Treinamento e Qualificação
				Supervisão permanente e Avaliação periódica do nível de segurança alcançado
			Monitoramento e Melhoria Contínua do Desempenho	Melhoria contínua do SGSO
				Divulgação do SGSO e da Comunicação acerca da Segurança Operacional
Fatores Humanos			Ambiente de Trabalho e Fatores Humanos	
	Planejamento de Emergência	Resposta de Emergência	Planejamento e Gerenciamento de Grandes Emergências	Coordenação do Plano de Resposta a Emergências
	Análise de Segurança Pré-inicialização	Análise Pré-inicialização		
Auditoria e Ações corretivas	Auditoria de Conformidade	Auditoria de Segurança	Auditorias	
			Elementos Críticos de Segurança Operacional	
Regulamentos				

QUADRO 1 - ELEMENTOS DE SISTEMAS DE GESTÃO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS (CCPS, OSHA, EPA, ANP, ANAC)

PSM CCPS	PSM OSHA	RMP EPA	SGSO ANP	SGSO ANAC
	Empreiteiros			
			Seleção, Controle e Gerenciamento de Contratadas	
	Segredos Comerciais			

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Besserman e Mentzer (2017, p.167-168), CCPS (2007, p.15), ANP (2007, p.10) e ANAC (2012, p.6).

4. Sistema de Gestão de Segurança de Processo Baseada em Risco (RBPS)

O sistema de segurança baseado em risco, de sigla RBPS (*Risk Based Process Safety* em inglês), que será utilizado como ferramenta de análise nos estudos de caso do presente trabalho, contém 20 elementos e se desenvolveu a partir dos 12 elementos definidos pela CCPS na publicação de gestão de segurança de processos (PSM) de 1989 (CCPS, 2007).

Para que seja possível o entendimento sobre o que é um sistema de Gestão de segurança de processo baseada em risco, o conceito de segurança de processo precisa ser definido. A segurança pode ser dividida em duas categorias: Segurança Ocupacional e Segurança de Processo. As atividades do programa de Segurança Ocupacional são focadas em minimizar riscos de ferimentos pessoais, como quedas, cortes e amputações, e qualquer outro tipo de acidente que não seja diretamente relacionado à tecnologia do processo na instalação (AIChE, 2014).

Ao passo que os acidentes referentes ao escopo da Segurança Ocupacional são de impacto geralmente limitado a um trabalhador por vez, os riscos ligados à Segurança de Processo geram grandes impactos a toda a força de trabalho, população local e meio ambiente, com perdas financeiras significativas. A segurança de processos foca no bom funcionamento do processo em si, com o objetivo de evitar vazamento de substâncias químicas perigosas, incêndios, explosões e, em alguns casos, todos os três eventos juntos. É importante ressaltar que, apesar de terem elementos em comum, como promover uma cultura e atitudes voltadas para a segurança, uma boa performance da segurança ocupacional não garante um bom desempenho da segurança de processos, já que a segunda exige o conhecimento dos perigos específicos do processo e das operações desenvolvidas na planta (AIChE, 2008).

Finalmente, o conceito de sistema de Gestão de Segurança de processo se define como a aplicação de princípios de gestão na estruturação de um sistema para orientar e controlar as atividades de segurança de processos (Schreiber, 1991).

Existem diferentes estratégias de gestão de segurança de processo que podem ser adotadas por empresas, de acordo com o nível de periculosidade de suas instalações e objetivos em segurança. Destacamos que, mesmo dentro de uma mesma empresa, duas ou mais estratégias podem ser utilizadas em diferentes departamentos e funções. As abordagens estratégicas praticadas podem ser agrupadas em quatro grandes grupos, de acordo com o seu foco em normas, conformidade, melhoria contínua e risco (CCPS, 2007).

4.1. Gestão de Segurança de Processo Baseada em Normas Técnicas

Normas técnicas podem ser regras, diretrizes, métodos ou padrões de produtos e de processos que são emitidos e disponibilizados a todos por instituições reconhecidas. Podem não possuir caráter obrigatório previsto em leis, mas adquirem obrigatoriedade ao se tornarem regulamentos, situação que ocorre quando são adotadas e impostas por um órgão governamental. No Brasil, a Associação Brasileira de

Normas Técnicas (ABNT) é o órgão responsável pela tradução dos mais diversos tipos de conhecimentos em normas técnicas para que atendam as demandas do mercado e da sociedade (ABNT, c2021a). A organização é estruturada em comitês técnicos que possuem um escopo de atuação definido: por exemplo, o comitê ABNT/CEE-109 é responsável pela normatização de metodologias relacionadas ao tema de segurança e saúde ocupacional (ABNT, c2021b).

As normas de segurança de processos geralmente evoluem por meio de lições aprendidas em episódios de perda. Dessa maneira, uma estratégia baseada exclusivamente nelas se torna insuficiente para prevenir acidentes futuros, já que acidentes de Segurança de Processos são raros e não configuram um bom indicador do real desempenho de um programa de segurança. Além disso, as normas são de difícil atualização e não abrangem as particularidades do processo (CCPS, 2007).

Entretanto, para muitas empresas, a estratégia baseada em normas técnicas pode ser escolhida para ser o centro do seu programa de segurança. Por esse motivo, as agências normativas trabalham para atualização das normas, a fim de que estas reflitam novas experiências e tecnologias utilizadas (CPPS, 2007). Um exemplo é a ISO 45001, norma internacional desenvolvida pela Organização Internacional de Normas (ISO) com apoio da OIT. A ISO 45001 fornece ferramentas para a implementação de Sistemas de Gestão de Saúde e Segurança Ocupacional (SGSSO) às empresas e certifica, por meio de auditorias, as companhias que atendem corretamente a norma (Bôas e Templum Consultoria, 2021).

4.2. Gestão de Segurança de Processo Baseada em Conformidade

A conformidade refere-se ao cumprimento de leis, decretos, normas regulamentadoras e outros instrumentos legais presentes na estrutura legislativa do país. Tais regulamentações são expedidas por órgãos governamentais e obrigatórias às empresas que fazem parte do seu escopo (Inmetro, 2012). Exemplos de regulamentações já citados anteriormente no texto são o PSM da OSHA e o RMP da EPA. No âmbito brasileiro, pode ser citada a própria Consolidação das Leis de Trabalho (CLT), que dedica 70 artigos ao tema de segurança e medicina do trabalho, especificando neles as responsabilidades de todas as partes (empresa, empregado e órgãos fiscalizadores) no tocante à manutenção da segurança, às atribuições e à implementação de uma Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (CIPA), às regras de utilização e disponibilização de EPI's e a demais assuntos pertinentes à segurança no trabalho. Por se tratar de uma consolidação que institui normas reguladoras de todos os aspectos das relações de trabalho no país, a CLT dispõe de normas mais gerais, que, no caso da temática de segurança e medicina do trabalho, são complementadas pelas Normas Regulamentadoras. As NR's detalham cada assunto de segurança abordado pela CLT, mas são mais prescritivas ao fixarem regras, condutas e procedimentos específicos para o ambiente de trabalho (SST, 2014). Outro exemplo de regulamentação brasileira com grande relevância para a segurança no ambiente de trabalho é o Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico (COSCIP). O COSCIP estabelece normas estaduais de segurança contra incêndio e pânico por meio das notas técnicas (NT's) (Lima Filho, 2021).

Geralmente, as regulamentações são desenvolvidas com base em experiências adquiridas com acidentes passados em segurança de processos que tiveram alcance para chamar a atenção de autoridades regulamentadoras. Dessa forma, não cobrem de forma completa as situações de perigo dentro de uma instalação. Além disso, empresas que não se enquadram na regulamentação podem apresentar riscos e não possuir ferramentas adequadas para controlá-los.

As regulamentações estabelecem exigências mínimas a serem cumpridas. Isso pode induzir as empresas que praticam essa estratégia a adotar uma mentalidade baseada em conformidade. O exercício de ponderação deixa então de ser praticado, e pode-se gastar muita energia para atender um nível de exigência considerado exagerado para uma atividade e insuficiente para outra. (CCPS, 2007)

4.3. Gestão de Segurança de Processo Baseada em Melhoria Contínua.

O programa de Gerenciamento de Qualidade Total, desenvolvido nos EUA nos anos 80, com ênfase em melhoria contínua para alcançar melhores indicadores de qualidade, incentivou nas empresas a aplicação da mesma ferramenta em programas de Segurança de Processos. Outros motivos para a implantação de padrões de melhoria nos sistemas de gestão de segurança foram o declínio de desempenho, resultado da estagnação; a crescente competitividade global, que incentivou a atualização e redução de custos; e o aumento contínuo da preocupação pública com assuntos de segurança e meio ambiente (CCPS, 2007).

A gestão baseada em melhoria contínua utiliza indicadores de resultado para guiar suas atividades e pode levar a falha caso tais indicadores possuam baixa frequência, como é o caso dos incidentes de Segurança de Processo (CCPS, 2007).

4.4. Gestão de Segurança de Processo Baseada em Risco

Essa estratégia cumpre com as exigências regulatórias, aplica as lições aprendidas pela empresa e pela indústria química e também utiliza indicadores de resultados para guiar sua gestão. Além disso, a gestão utiliza a análise de risco e os indicadores de tendência para avaliar o real desempenho de diversos aspectos do programa. Esta se torna uma estratégia mais independente da ocorrência de eventos de perda (CCPS, 2007).

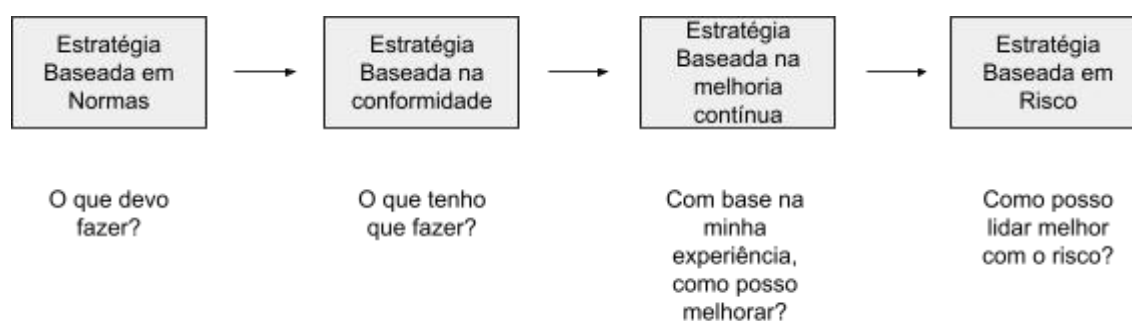
Outra evolução dessa estratégia em relação às anteriores é o melhor gerenciamento de recursos, ao se basear na análise de risco para a distribuição dos mesmos (CCPS, 2007).

Entretanto, segundo Monteiro (2020), é importante que a indústria e as agências reguladoras estejam cientes das limitações de uma abordagem de segurança baseada em risco para evitar a armadilha criada pela mentalidade exclusivamente focada em risco. A armadilha presente em sistemas baseados em risco é consequência direta da sua lógica central de distribuição de recursos, visto que riscos classificados como baixos recebem menor investimento. Esse reduzido emprego de recursos se torna problemático

principalmente para os casos de *Major Accident Hazard* (MAH), cenários acidentais com potencial catastrófico, que geralmente são classificados como de baixo risco em uma primeira análise de risco devido à baixa frequência associada a tais cenários. Contudo, a baixa frequência apresentada por qualquer evento de segurança está diretamente relacionada a diversos fatores, como, por exemplo, operadores que mantêm as variáveis de processos dentro de limites aceitáveis e práticas para assegurar a integridade mecânica dos equipamentos. Ou seja, para que os cenários MAH continuem a apresentar baixa probabilidade de ocorrência, deve ser realizado um considerável investimento, com caráter preventivo, de recursos e monitoramento, para se evitar um processo de degradação silencioso de uma atividade operacional e conseqüentemente ocorra o acidente. Dessa forma, Monteiro (2020) propõe que regras prescritivas e abordagens mais tradicionais para a análise de segurança não sejam abandonadas com a adoção de uma abordagem baseada em risco, uma vez que os dois tipos de estratégias devem ser entendidas como complementares.

A Figura 2 relaciona todas as estratégias mencionadas de Gestão de Segurança de Processos do ponto de vista evolutivo.

FIGURA 2 - EVOLUÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE GESTÃO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS



Fonte: CCPS (2007)

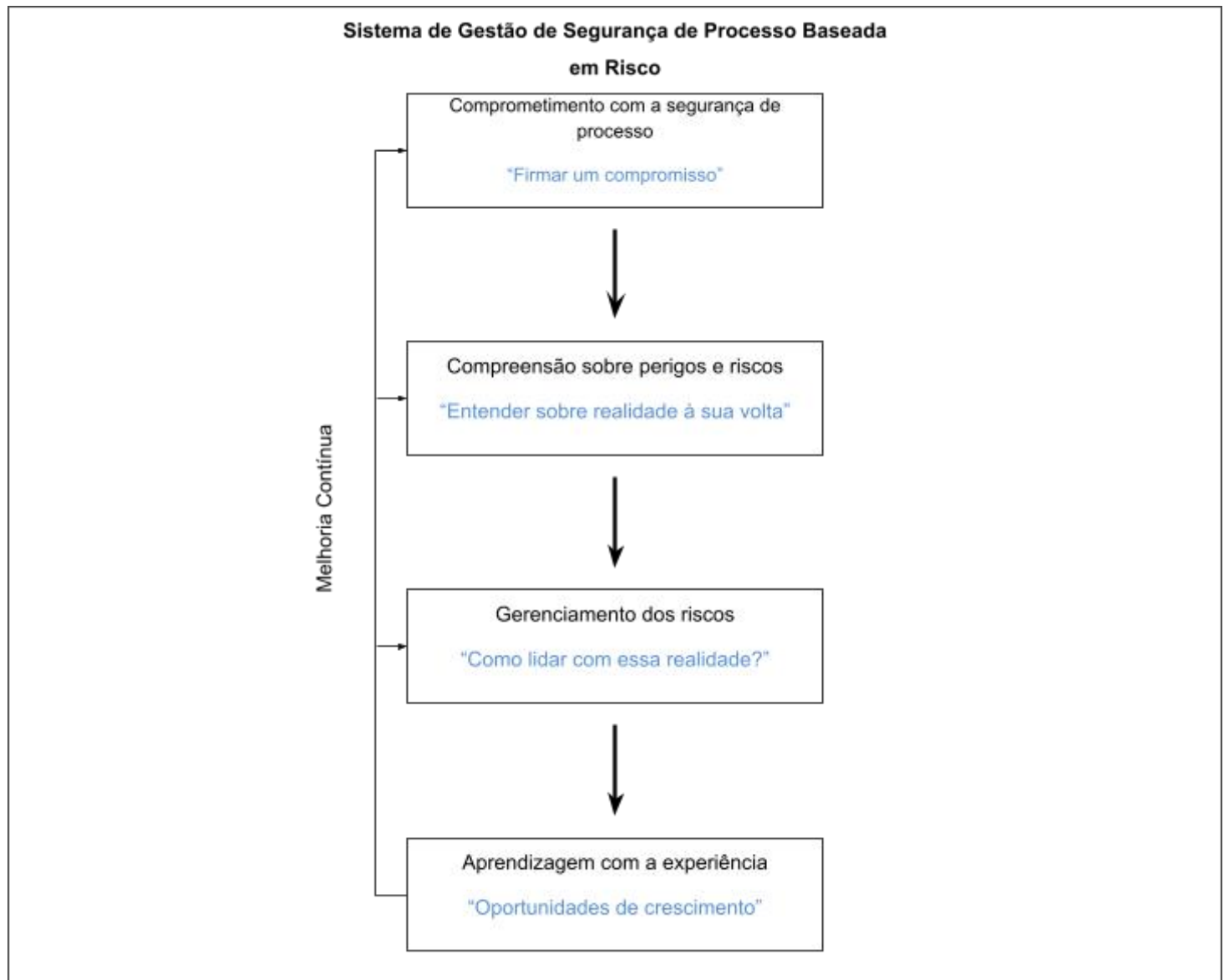
4.5. Conceito e Estrutura

O sistema de gestão de segurança de processo baseado em risco possui foco central no risco, definido a partir das respostas a três perguntas: “O que pode dar errado?”; “Quão grave pode ser?”; e “Com que frequência pode acontecer?”. De acordo com as diretrizes do RBPS, considerar todas ou apenas uma das questões acima na tomada de decisão já significa que a atividade foi baseada em risco (CCPS, 2007). A resposta à primeira pergunta estabelece o cenário de um possível acidente, o perigo. Com a segunda e terceira perguntas, a severidade e a frequência relativas a esse perigo são então definidos para que o risco associado possa ser medido em função destes (CCPS, 2007).

A partir da definição de risco, surge o conceito central do RBPS, que reconhece que os cenários acidentais não são iguais e que recursos não são ilimitados; conseqüentemente, defende que mais recursos sejam alocados a cenários acidentais mais significativos e com riscos mais elevados (CCPS, 2007).

O sistema de gestão proposto pelo CCPS é estruturado em quatro blocos fundamentais: “Comprometer-se com a segurança do processo”; “Entender os perigos e riscos”; “Gerenciar riscos”; e “Aprender com a experiência” (CCPS, 2007). A figura 3 esquematiza esses quatro blocos e seus propósitos principais.

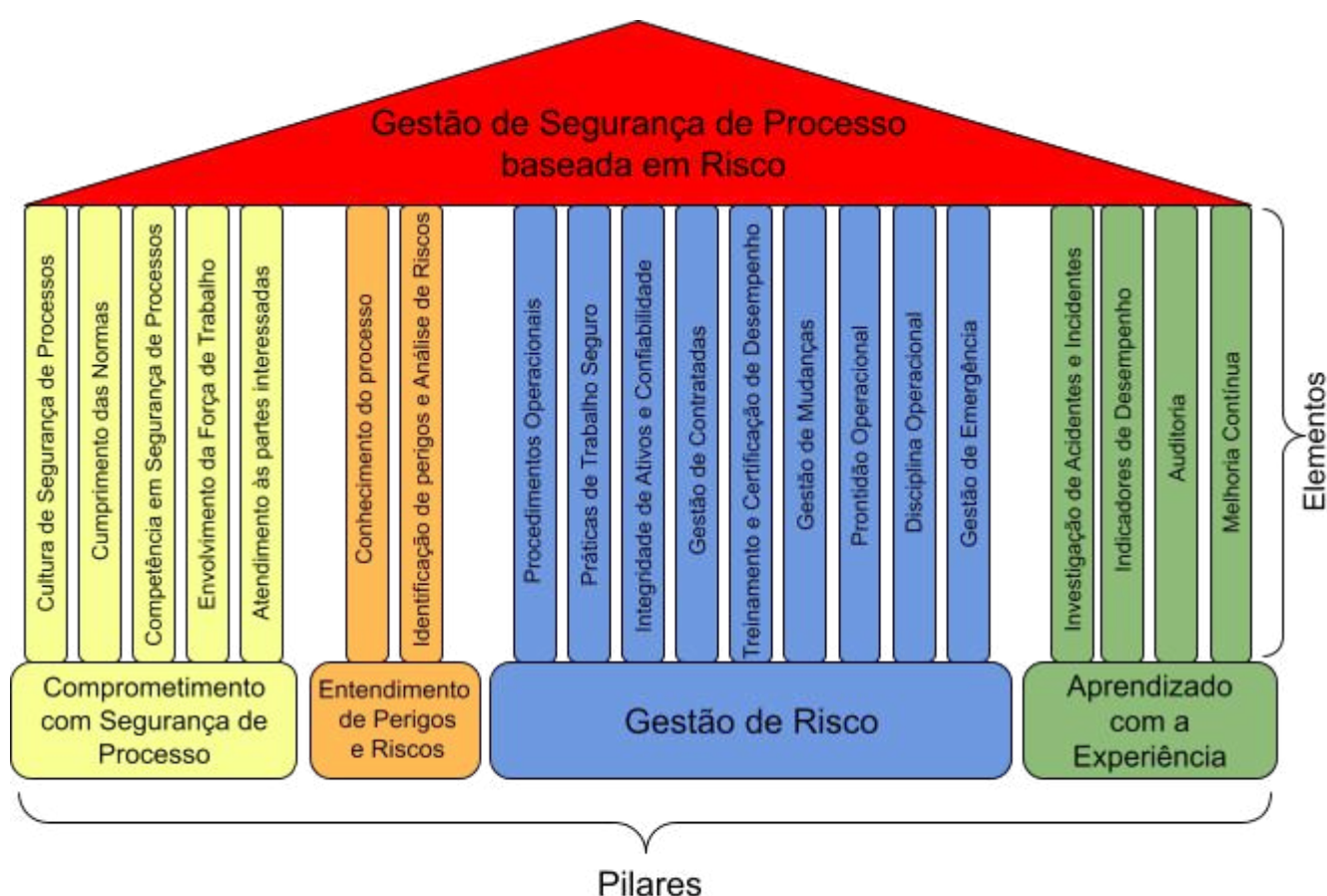
FIGURA 3 - PILARES DO RBPS



Fonte: Elaborada pelos autores.

Esses quatro blocos são sustentados pelos 20 elementos do sistema, como mostrados na figura 4.

FIGURA 4 - ELEMENTOS E PILARES DO SISTEMA DE GESTÃO BASEADO EM RISCO



Fonte: Adaptado de CCPS, 2014.

4.6. Escopo e Aplicação

É de suma importância definir o escopo de atuação do sistema RBPS antes mesmo de caracterizar seus elementos. O bom entendimento dos limites de aplicação evita o emprego inadequado do sistema, que pode induzir no indivíduo uma falsa percepção de controle de risco, quando, na verdade, o que ocorre é a exposição a ele.

Em primeiro lugar, as diretrizes do RBPS foram desenvolvidas com base em **instalações fixas, não de transporte**. Para aplicação em transporte e em situações marítimas, devem ser feitos ajustes e expansões no sistema. Outra restrição está na aplicação em produtos. A abordagem é focada em **processos, não em produtos**; dessa forma, não abrange questões de segurança de produto ou de risco ao consumidor. É com esse enfoque em processos que surge o conceito de **ciclo de vida total**. O RBPS é aplicável durante todo o ciclo de vida do processo, considerando apenas que alguns elementos podem não estar ativos em algumas etapas do ciclo de vida, como por exemplo o elemento procedimentos operacionais, que não se faz relevante na etapa de projeto conceitual. Deve ser pontuado também que o RBPS foi desenvolvido para tratar de segurança de processo como uma questão independente e que **Áreas técnicas relacionadas** como Saúde, Meio ambiente e Qualidade não estão integradas nesse sistema de gestão (CCPS, 2007).

Finalmente, entendendo o escopo, cabe à empresa projetar seu sistema de segurança de processo com base em três critérios: **Risco, Demanda e Cultura**. A ponderação baseada nesses três critérios deve ser

usada para definir em quais áreas físicas e etapas do ciclo de vida do processo o RBPS será implementado, bem como o nível de detalhamento da aplicação. Abaixo serão descritos esses critérios e suas influências na modelagem do sistema de gerenciamento (CCPS, 2007).

Risco do Processo

O risco, na abordagem RBPS, deve ser o primeiro critério a ser considerado na determinação das atividades de Segurança de processos. A compreensão do risco envolvido em uma operação ajuda a empresa a estruturar um sistema de gestão coeso, no qual as atividades se tornam complementares e minimizam o risco para funcionários, público e meio ambiente. Atividades que lidam com um risco maior demandarão mais tanto em recursos como em envolvimento da gestão. (CCPS, 2007).

Demanda

A demanda é uma variável dependente do risco. Dessa forma, o nível de risco determinará a demanda por recursos em uma atividade de Segurança de Processos. É importante destacar que tempo e pessoas também deverão ser contabilizados como recursos e que a abordagem RBPS defende a alocação adequada e eficiente dos recursos de acordo com o risco avaliado. Dessa forma, compreender o nível de demanda para determinada atividade de Segurança de Processos se torna imprescindível para a alocação adequada de recursos e, conseqüentemente, para a modelagem de um sistema de gestão eficiente. (CCPS, 2007)

Cultura de Segurança de Processo

O nível de amadurecimento da cultura de Segurança de Processo da organização impacta significativamente a qualidade da execução das atividades de Segurança de Processos. Uma força de trabalho comprometida e com uma cultura de segurança forte entende a importância da segurança e realizará as atividades relacionadas com maior prudência. Em empresas com culturas fracas, para minimização da perda em desempenho e também para auxiliar no amadurecimento da cultura, fazem-se necessários um sistema de gestão mais prescritivo e um maior envolvimento da liderança nas atividades de Segurança de Processos. Ambos os níveis de cultura podem produzir casos bem-sucedidos em gestão de segurança de processos, se a liderança for capaz de avaliar a cultura organizacional e a considerar ao projetar o sistema (CCPS, 2007).

4.7. Primeiro Pilar: Compromisso com a Segurança de Processos

O comprometimento de todos na organização com a segurança de processo é a base para a aplicação eficaz e consistente do sistema de gestão. O papel da liderança é fundamental ao promover a segurança como valor essencial e apoiar completamente as atividades relacionadas. Dessa forma, a força de trabalho será capaz de desenvolver um comportamento de fazer coisas certas, do jeito certo, na hora certa, mesmo quando ninguém estiver fiscalizando. Esse tipo de conduta deve ser cultivado e incorporado à cultura empresarial, para que os resultados esperados da gestão de segurança sejam obtidos. (CCPS, 2007)

O plano de ação para que a corporação busque de forma eficaz o comprometimento com a segurança de processos é focado em quatro principais ações (CCPS, 2007):

- Desenvolver e financiar uma cultura organizacional que incorpore a segurança de processos;
- Identificar, compreender e atender os códigos, normas, regulamentos e leis;
- Estabelecer e atualizar continuamente a competência organizacional;
- Solicitar a participação e consultar todas as partes interessadas, como força de trabalho e vizinhos.

Essas ações são exercidas pelos 5 elementos que sustentam o pilar. O elemento **Cultura de Segurança de Processos** é estruturado para estabelecer e desenvolver uma cultura voltada para a segurança de processos. O **Cumprimento das Normas**, como o próprio nome sugere, se encarrega do atendimento às normas aplicáveis à organização. A aplicação do elemento **Competência em Segurança de Processos** garantirá a criação e melhoria contínua da competência organizacional. O **Envolvimento da Força de Trabalho** objetiva o engajamento em segurança de processos da força laboral. Finalmente, o elemento **Abrangência às Partes Interessadas** foca em informar e estabelecer um diálogo com indivíduos e organizações que possam ser afetadas pelas operações da empresa (CCPS, 2007).

A seguir serão detalhados os elementos Cultura de Segurança de Processos, Cumprimento das normas e Competência em Segurança de Processos.

4.7.1 Cultura de segurança de Processo

Cultura pode ser definida como o conjunto de comportamentos e valores guiados pelas premissas de “Como fazemos as coisas por aqui”; “Qual é a nossa expectativa aqui” e “Como nos comportamos quando ninguém observa” de determinado grupo. Uma cultura se desenvolve quando um grupo identifica determinadas atitudes e comportamentos que fornecem benefícios comuns a seus membros. A repetição de tais atitudes e comportamentos integra-os aos valores do grupo em questão (CCPS, 2007).

A cultura de segurança de processo de uma organização desempenha um papel essencial no sistema de gerenciamento de segurança de processo, com relevância em todos os elementos, pois estes dependem

de ações de indivíduos e grupos para que sejam colocados em prática e de forma eficiente. Por exemplo, a cultura é um fator determinante para a resposta a situações inesperadas, desconhecidas e não regradas. Na medida em que é impossível prever e controlar todos os perigos e riscos dentro de uma instalação, uma cultura de segurança de processos forte e bem consolidada produzirá respostas mais seguras e eficientes (CCPS, 2007).

A partir das investigações de acidentes catastróficos na história, as fraquezas culturais mais recorrentes em organizações foram identificadas, como a aceitação gradual de níveis decrescentes de desempenho em segurança de processos, um estado de consciência limitado sobre a própria vulnerabilidade, uma comunicação ineficiente e respostas demoradas às questões de segurança (CCPS, 2007). É importante que a liderança conheça e saiba identificar essas e outras fraquezas culturais, para que seja feito um diagnóstico apropriado da cultura atual de segurança de processos da organização e medidas pertinentes de correção e melhoria sejam tomadas mediante a implementação e o monitoramento das atividades do elemento (CCPS, 2007).

A liderança tem a responsabilidade de criar e gerenciar uma cultura. Deve ser compreendido, a propósito, que valores e opiniões não podem ser moldados por decretos; por isso, uma estratégia baseada em comunicação e reforço deve ser sempre adotada (CCPS, 2007).

Abaixo são listados exemplos de como colocar em prática essa estratégia (CCPS, 2007):

- Verbalizar de forma objetiva e clara as expectativas de novas atitudes/comportamentos;
- Expor resultados de sucesso para todos;
- Assegurar que membros reconheçam e apreciem esses resultados;
- Apresentar exemplos de comportamentos aceitáveis;
- Esclarecer lógica e benefícios antecipados de um comportamento para todos;
- Garantir que prestação de contas e reforços positivos sejam claros e certos;
- Fazer referência a antigas perdas para sempre acessar a memória da força de trabalho;
- Fazer referência a perdas sofridas por outras empresas;
- Apelar para a preservação de um bom histórico de segurança.

Apesar de a liderança ser encarregada de construir e guiar a cultura, cada indivíduo tem um papel no reforço de normas comportamentais, exercendo pressão social na presença de um desvio, comunicando a percepção de novos riscos e também sendo proativo na elaboração de soluções em segurança (CCPS, 2007).

4.7.2. Cumprimento das Normas

O termo “normas” no elemento Cumprimento das normas refere-se a todo o conjunto de padrões, códigos, regulamentos e leis aplicáveis à instalação (CCPS, 2007).

O elemento tem como principais objetivos o conhecimento e a manutenção da conformidade com tais padrões, ambos essenciais para operar uma instalação e mantê-la segura, implantar as práticas de segurança de processo de forma consistente e minimizar as eventuais responsabilidades legais (CCPS, 2007).

O elemento é estruturado a partir de um sistema de normas que deve reunir e disponibilizar, de forma simples, a seus potenciais usuários todas as normas internas e externas de todas as instâncias (municipais, estaduais, federais, nacionais e internacionais) referentes à segurança de processo. Esse sistema monitora as fontes normativas para identificar prazos e mudanças nas normas, que podem ocorrer em intervalos irregulares ou padronizados, garantindo a atualização das mesmas para que as atividades de conformidade sejam realizadas de modo adequado. É fundamental também que encarregados pela criação e manutenção do sistema normativo sejam treinados para aplicar corretamente normas, possuam conhecimento sobre legislação e trabalhem junto ao departamento jurídico da empresa (CCPS, 2007).

De certo modo, o sistema de normas interage com cada um dos elementos no sistema de gestão RBPS. Por exemplo, o elemento de gestão de mudança é responsável por abordar as mudanças iniciadas pelo sistema de normas. Já o elemento de padrões operacionais é obrigado a contemplar em seus procedimentos todas as normas pertinentes ao processo. Entretanto, é o elemento de auditoria que se relaciona mais fortemente com o sistema de normas, na medida em que o escopo desse elemento, que monitora as ações de conformidade, é determinado pelas normas pertinentes à instalação. E é a partir dos resultados apresentados pelo grupo de auditoria que o elemento Cumprimento das normas determina o estado de conformidade da organização. Caso o diagnóstico indique o não atendimento a algum padrão, atividades do elemento das normas para recobrar a conformidade devem ser aplicadas, para que, então, a organização possa prestar contas às agências reguladoras por meio de relatórios que atestam a conformidade da instalação (CCPS, 2007). A figura 5 apresenta um diagrama que ilustra a correlação entre esses dois elementos.

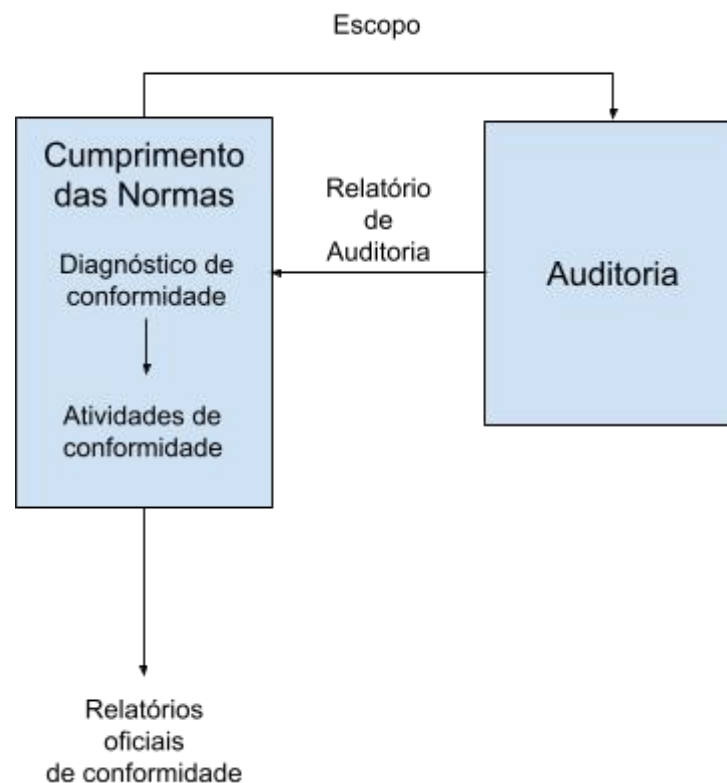
4.7.3. Competência em Segurança de Processos

Competência é o entendimento e a interpretação do conhecimento, o que auxilia a organização na tomada de decisões. O elemento Competência em segurança de processos é focado em desenvolver e manter a competência organizacional mediante a melhoria contínua do conhecimento, a disponibilização apropriada de informações e a aplicação coerente do que foi aprendido (CCPS, 2007).

A melhora contínua e o aumento do conhecimento organizacional podem partir de atividades pontuais de aprendizado, do estudo de uma análise de risco ou ainda de iniciativas abrangentes de promoção do

conhecimento organizacional. Seminários, *networking*, interação com especialistas e solicitação de conhecimento de fontes externas são exemplos dessas iniciativas abrangentes que desenvolvem o aprendizado por meio do compartilhamento de novas informações entre funcionários, instalações e outras empresas (CCPS, 2007).

FIGURA 5 - CORRELAÇÃO ENTRE OS ELEMENTOS CUMPRIMENTO DAS NORMAS E AUDITORIA



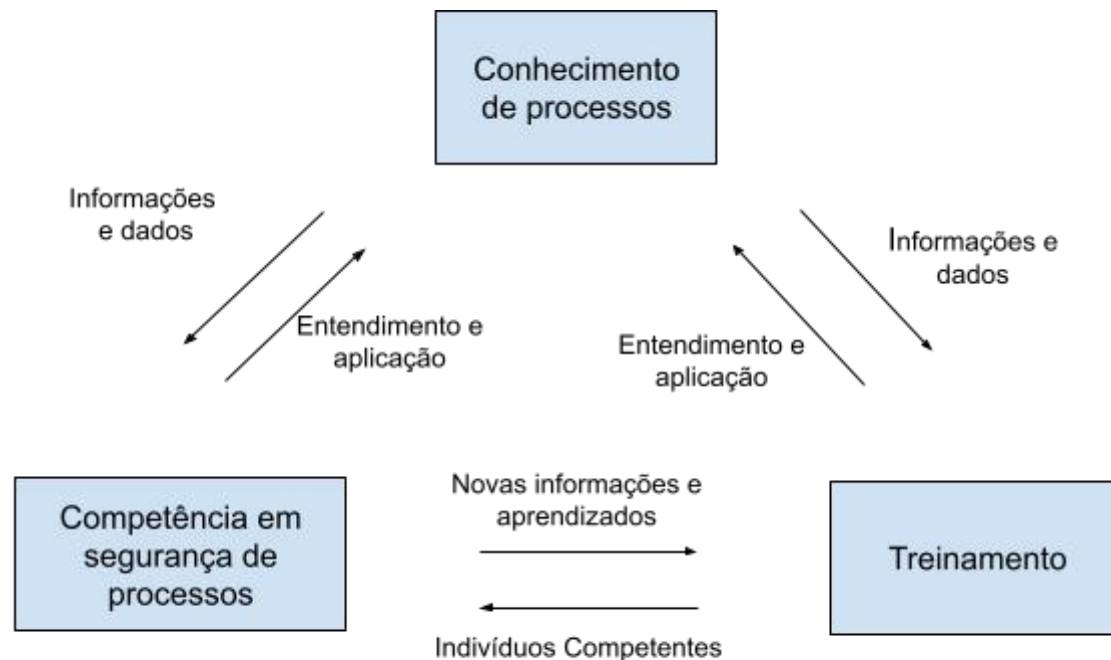
Fonte: Elaborada pelos autores.

A organização das informações e a adequada disponibilização delas é outro ponto-chave do elemento. O conhecimento disponibilizado deve ser pertinente para a operação e apresentado em formato acessível para apoiar a aprendizagem. É principalmente nesse aspecto que os elementos Competência e Conhecimento de processos operam conjuntamente. O Conhecimento de processos é uma coleção de dados. Apesar de o elemento competência também produzir registros escritos, como o manual de tecnologia, seus principais resultados são o entendimento desses dados e a aplicação do conhecimento. Dessa forma, a Competência é encarregada de filtrar, processar, catalogar, atualizar e estruturar o conhecimento sob a forma de banco de dados e com linguagem acessível para o seu público-alvo. Essa gestão é o que torna possível a tradução do conhecimento em comportamento (CCPS, 2007).

Dessa forma, é no processo de aprendizagem que o elemento treinamento se correlaciona com a competência. O primeiro se concentra em manter a competência individual, fornecendo a base, visto que uma organização é feita de indivíduos, para que o segundo consolide o aprendizado organizacional (CCPS, 2007). Finalmente, a correlação entre os três elementos citados reside no fato de que a

competência, juntamente com o elemento conhecimento, fornece o conteúdo utilizado pelo treinamento, por meio da atualização contínua de novos aprendizados. A figura 6 esquematiza as correlações entre os três elementos mencionados.

FIGURA 6 - CORRELAÇÃO ENTRE CONHECIMENTO DE PROCESSOS, COMPETÊNCIA EM SEGURANÇA DE PROCESSOS E TREINAMENTO



Fonte: Elaborada pelos autores.

Uma atividade importante do elemento que ilustra de forma clara o esforço em se manter a competência organizacional é o planejamento de transições de pessoal. O ritmo cada vez maior das mudanças no mundo moderno, como aquisições, reorganizações e demissões de funcionários chaves para o processo, acarretam desafios para a manutenção do capital intelectual de uma empresa. Dessa forma, um planejamento de sucessão que identifique cargos vitais e treine substitutos, muitas vezes utilizando o formato de mentoria, se torna necessário para contornar esse desafio contemporâneo (CCPS, 2007).

O elemento Competência aumenta a probabilidade de os indivíduos ao serem confrontados com uma situação anormal tomarem a ação adequada. Além disso, manter a competência em segurança de processo está intimamente relacionado a manter competência do processo em geral, de maneira a evitar perdas, por exemplo, de produção, manutenção entre outros (CCPS, 2007).

4.8. Segundo Pilar: Compreensão dos Perigos e Riscos

O pilar de compreensão dos perigos e riscos é a base de uma abordagem de segurança de processos baseada em risco. Dessa forma, um sistema de gestão RBPS efetivo resulta de um bom entendimento

dos perigos e riscos atuais do processo. A compreensão de risco empodera a empresa na decisão de quais ações, caso necessárias, serão utilizadas para eliminar, reduzir ou controlar o risco identificado, pois, mesmo em um ambiente altamente regulamentado, a gama de opções de atividades para controle de risco é grande. Além disso, uma compreensão adequadamente detalhada e precisa dos riscos auxilia a organização na modelagem das atividades de gestão de segurança de processo, ao ser utilizada como critério na determinação do nível de rigor técnico de implantação, do esforço e atenção da gestão para o risco identificado e na utilização de recursos, tornando a alocação destes mais eficiente (CCPS, 2007).

A compreensão de risco está diretamente relacionada com a fase do ciclo de vida na qual o processo se encontra. Por exemplo, durante o estágio de desenvolvimento de projeto, pouco se sabe sobre os riscos de um processo além daqueles referentes à sua química de processo básica. Isso acarreta incertezas acerca dos perigos e riscos definitivos que o processo possa vir a apresentar em seu estágio de operação. Consciente disso, a organização deve buscar aumentar sua maturidade sobre o risco consultando inúmeras fontes, que incluem histórico operacional da empresa e da indústria. A partir do amadurecimento da percepção do risco por meio do avanço no ciclo de vida do processo, quanto mais a informação torna-se disponível e mais as ferramentas de identificação de perigos e avaliação de risco são utilizadas, as oportunidades de crescimento tornam-se mais refinadas para a percepção de risco (CCPS, 2007). Dessa forma, na busca pelo entendimento de perigos e riscos, as organizações devem concentrar suas ações em (CCPS, 2007)

- Compilação, documentação e manutenção do conhecimento da segurança de processo.
- Realização de estudo e identificação de perigos e análises de risco

Essas ações são exercidas, respectivamente, pelos dois elementos que sustentam esse pilar: Conhecimento do Processo e Identificação de perigos e Análise de Riscos (CCPS, 2007).

A seguir será detalhado o elemento “Identificação de perigos e Análise de Riscos”.

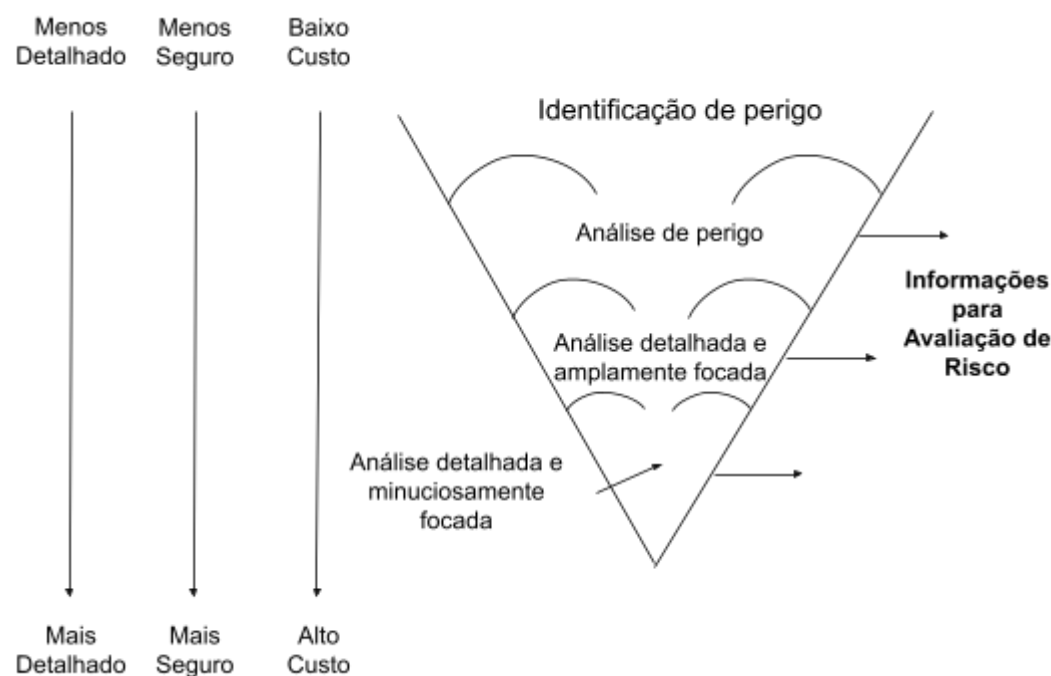
4.8.1. Identificação de Perigos e Análise de Riscos

Em uma operação industrial, é impossível a eliminação total dos riscos, mesmo com a aplicação das medidas de controle, na medida em que certos riscos não podem ser extintos sem que a atividade que o produz não seja extinta também. Dessa forma, o tratamento de tais riscos conduzirá à mitigação dos mesmos, resultando nos chamados riscos residuais (T-RISK, c2020). A gestão da empresa é responsável por estabelecer e comunicar o seu limite de tolerância ao risco às equipes de avaliação de risco, para que estas sejam capazes de realizar julgamentos consistentes a fim de adequar os riscos aos padrões aceitos pela empresa. É importante ressaltar que os níveis de tolerância ao risco de uma empresa devem englobar e atender as exigências reguladoras e estar em sincronia com os limites de tolerância da comunidade na qual estão inseridas suas operações (CCPS, 2007).

As identificações de perigo e análise de riscos devem ser realizadas em todos os estágios do ciclo de vida de um projeto, observando que em geral a identificação de riscos em fases iniciais torna possível a eliminação ou o melhor gerenciamento dos maiores custos relacionados a ele (CCPS, 2007).

Finalmente, para gerenciar riscos é necessário que estes sejam identificados e posteriormente avaliados para a classificação dos mesmos como toleráveis ou não. Um simples estudo prévio de identificação de cenários acidentais pode ser realizado por um único especialista com formação acadêmica em métodos de análise de risco, enquanto, para estudos de risco de processos mais complexos ou perigosos, faz-se necessária a atuação de uma equipe multidisciplinar, com integrantes da área de engenharia, operações e manutenção. O objetivo é sempre realizar o nível de análise suficiente que o risco exige para a tomada de decisões eficazes em controle de riscos, já que análises insuficientes levam a decisões ineficientes e à aceitação inconsciente dos riscos, e o excesso de análise leva ao uso ineficiente dos recursos limitados. O nível de detalhamento da análise deve ser proporcional ao objetivo de análise, estágio de ciclo de vida, informações disponíveis, recursos e tolerância ao risco da organização (CCPS, 2007). A figura 7 consiste em um diagrama que aborda diferentes níveis de detalhamento nas análises de risco e seus principais aspectos.

FIGURA 7 - NÍVEIS DE ANÁLISE DE RISCO E AVALIAÇÃO DE PERIGO



Fonte: CCPS, 2007.

O elemento abrange o espectro inteiro de análises de risco, desde as análises qualitativas até as quantitativas (CCPS, 2007). As ferramentas para a realização de análises podem ser agrupados em três categorias (CCPS, 2007):

(1) Identificação simples de perigo e análise qualitativa do risco

- Análise de perigos e operabilidade (HAZOP);
- Planilha de verificação *what if*;
- Análise de modos de falha e efeitos (FMEA);
- Análise preliminar de perigos (APP);
- Análise preliminar de risco (APR).

(2) Análise semiquantitativa de risco

- Análise de camada de proteção (LOPA).

(3) Análise quantitativa de risco

- Árvores de falhas;
- Árvores de causa.

Quando o estudo estiver completo, a gestão deve então decidir se vai implementar ou não as medidas de redução de risco recomendadas e então responder formalmente a cada recomendação feita pelas equipes de análise de risco, seja acatando a orientação recebida, seja optando por uma medida alternativa, seja recusando as recomendações, mediante devida justificativa, e aceitando o risco (CCPS, 2007).

Os resultados obtidos da identificação de perigos e análise de riscos serão usados como base no desenvolvimento e desempenho de outros elementos. Por exemplo, os cenários de possíveis acidentes tratados no elemento de emergência são identificados mediante as análises de risco produzidas, assim como o elemento de gestão de mudanças só será efetivo no reconhecimento dos riscos envolvidos em uma mudança se o elemento de identificação e perigos e análise de risco for efetivo ao gerar uma análise de risco suficientemente detalhada, que propiciará então o entendimento adequado dos riscos existentes (CCPS, 2007).

4.9. Terceiro Pilar: Gerenciar Riscos

O pilar de gerenciamento de riscos reúne principalmente as tarefas de segurança de processo que devem ser executadas repetidamente em uma rotina operacional e que devem sempre ser embasadas no conhecimento atual da organização acerca dos riscos dos processos que os trabalhadores enfrentarão. Uma empresa que sabe aplicar de forma eficiente esse conhecimento, ou seja, estruturar bem o

gerenciamento de riscos, é capaz de lidar melhor com os riscos residuais, mantendo, dessa forma, a operação segura e lucrativa a longo prazo (CCPS, 2007).

Esse pilar se concentra em três principais questões (CCPS, 2007):

- Operar e manter processos de forma segura;
- Realizar mudanças de forma a respeitar os limites de tolerância ao risco da organização;
- Preparar-se para possíveis acidentes, responder aos acidentes ocorridos e gerenciá-los.

A primeira questão é atendida por sete dos nove elementos do pilar. A **prontidão operacional** concentra-se em assegurar a partida segura de qualquer equipamento, sendo ele parte de um procedimento rotineiro ou não, modificado ou novo. Esse é um elemento estratégico para a manutenção da segurança nas operações, já que a frequência de eventos de segurança se demonstra mais alta durante as transições dentro do processo, ou seja, na parada e partida de equipamentos e na implementação de mudanças no modo operacional. A **Disciplina Operacional** se encarrega de estabelecer expectativas gerais e metas no que se refere à realização das operações. A fim de manter um bom nível de desempenho humano, esse elemento determina limites de tolerância operacionais, de acesso e permanência na área operacional, o recurso mínimo e adequado para cada operação, assim como formaliza a comunicação entre funcionários, turnos e unidades. O **Procedimento operacional** documenta de forma prescritiva para o operador a realização de tarefas essenciais como iniciar, operar e encerrar processos de modo seguro, incluindo a parada de emergência. Os procedimentos operacionais têm o papel de tornar uma tarefa replicável por diferentes operadores, assim garantindo um desempenho humano consistente. O **Trabalho Seguro** junto com o elemento de **Integridade de Ativos** preenchem a lacuna de procedimentos não abordados no elemento procedimento operacional. O primeiro produz procedimentos para a realização de atividades não rotineiras, que muitas vezes incluem permissões de trabalho e geralmente pertencem ao escopo das regulamentações. Exemplos dessas atividades são o trabalho em altura e a quente. O segundo elemento mantém a confiabilidade de que um determinado equipamento funcionará da maneira prevista, por meio da inspeção do projeto e da instalação, da realização de procedimentos de testes, da calibração e da manutenção dos equipamentos pelas equipes de manutenção e operação. A **Gestão das Contratadas** tem o objetivo de fazer com que trabalhadores terceirizados desempenhem suas atividades de forma segura e sincronizada com a operação, sem que riscos operacionais sejam adicionados ou aumentados. O elemento **Treinamento e Certificação de Desempenho** garante que as tarefas de trabalho sejam realizadas de forma consistente e atendendo aos padrões mínimos aceitos pela organização. Os resultados desse elemento têm grande influência no desempenho dos outros elementos do sistema de gestão (CCPS, 2007).

O elemento **Gestão de Mudanças** tem como objetivo garantir que modificações ocorridas no processo não agravem o risco de forma significativa, tanto temporariamente quanto permanentemente (CCPS, 2007).

Finalmente, a **Gestão de Emergência** mantém a organização pronta para responder a diferentes cenários de possíveis acidentes (CCPS, 2007).

Os elementos de “Treinamento” e “Gestão de Mudanças” serão mais detalhadamente descritos a seguir.

4.9.1. Treinamento e Certificação de Desempenho

Esse elemento é estruturado em dois componentes, o sistema de treinamento e o de garantia de desempenho. Primeiramente, treinamento pode ser definido como a instrução prática de como realizar uma atividade de trabalho por meio da metodologia a ser utilizada e dos requisitos mínimos a serem atendidos. O treinamento é aplicado em uma operação para garantir a competência do trabalhador em um cargo já exercido ou para capacitação para um cargo diferente. Faz parte do escopo desse sistema determinar as necessidades de treinamento para os diferentes cargos de uma organização mediante a análise das tarefas de trabalho que serão realizadas. Dessa forma, os conhecimentos, as competências e as habilidades (KSAs) mínimas para desempenhar de forma eficiente e segura determinada função são estabelecidos e, com base nisso, os materiais de treinamento são desenvolvidos. Esses materiais são utilizados em um programa de treinamento, que geralmente é estruturado em módulos organizados para que a progressão do aprendizado seja lógica. Interligam-se os tópicos relacionados sempre que necessário (CCPS, 2007).

A metodologia geralmente utilizada para a estruturação desse programa é baseada na matriz de treinamento, exemplificada na figura 8, na qual cada cargo da empresa é relacionado no cabeçalho horizontal, enquanto os módulos de treinamento são dispostos na vertical, de modo a formar uma matriz de fácil visualização dos cursos exigidos para determinada função (EPSC, 2013).

A elaboração da matriz é realizada em três etapas principais. A primeira corresponde à determinação dos requisitos básicos de competência para qualquer funcionário da instalação. Na segunda etapa, são determinados os grupos de funções-chave, como por exemplo, “equipe de manutenção”. Para cada grupo, um conjunto de treinamento é estabelecido. É importante ressaltar que os requisitos para tais grupos devem ser ajustados para os trabalhos específicos em cada instalação, levando em consideração as avaliações de risco, pois, ainda que pertencendo à mesma função-chave, a atividade a ser executada pode exigir conhecimentos diferentes de acordo com o nível de risco apresentado. Finalmente, na terceira etapa, são listados todos os cargos da empresa e são determinados os treinamentos complementares aos já estabelecidos pelo grupo de função-chave de origem do cargo, a fim de atingir o nível de competência requerido para determinada posição (EPSC, 2013).

O programa de treinamento é realizado de forma contínua dentro da organização de acordo com um cronograma, ferramenta essencial para garantir uma frequência que assegure um bom desempenho do programa de reciclagem, por exemplo (CCPS, 2007).

FIGURA 8 - EXEMPLO DE MATRIZ DE TREINAMENTO

Curso	Vice-presidente geral	Qualquer VP de nível 4 ou nível de diretor com relação de subordinação na operação	Gerente de Operações	Gerente de Tecnologia	Engenheiro de operação	Supervisores de operação	Técnicos de operação	Gerente de SSMA/Líder de time	Especialista SSMA em Segurança	Especialista SSMA em Segurança de Processo	Especialista SSMA em Meio Ambiente
Introdução aos fundamentos da Segurança de Processos		M	M	M	M			R	R	M	
Fundamentos da Segurança de Processos	M					M	M	M	M		
Processo de revisão de projeto de capital			R	R	M			M	M	M	M
Introdução à controle de reações exotérmicas			M	M	M	R	R	R	R	M	
Controle de reações exotérmicas						M	M	R			
Tomada de decisão baseada em risco		R	R		R	R		R	R	M	R
Análise de causa raiz			M	R	M	M	R	M	M	M	M
Visão geral executiva de análise de causa raiz	M	M		M							
Análise de risco de processo para líderes					R				R	R	
Design seguro inerente				R	R			R	R	R	

Fonte: Adaptado de EPSC, 2013. M: Mandatório; R: Recomendado.

O sistema de certificação de desempenho avalia a compreensão adquirida pelos trabalhadores treinados, considerando a capacidade de aplicação prática do que foi ensinado e de atendimento aos padrões requeridos (CCPS, 2007). Essa avaliação deve ser principalmente realizada utilizando indicadores proativos, pois estes independem do acontecimento de um evento de segurança. Dessa forma, é possível diagnosticar o estado de saúde do elemento e, se for o caso, tomar medidas para restaurar sua eficácia antes que qualquer evento de perda aconteça (CCPS, 2019). Dois exemplos de indicadores proativos aplicáveis para avaliação de desempenho do elemento treinamento são apresentados a seguir:

- **Falha para seguir procedimentos/práticas seguras de trabalho**

$$\frac{\text{Número de tarefas críticas de segurança observadas em que todas as etapas do procedimento de trabalho seguro em questão não foram seguidas}}{\text{Número total de tarefas críticas de segurança observadas}} \times 100 \%$$

Esse indicador é usado para determinar a porcentagem de tarefas críticas que não estão sendo conduzidas de acordo com o procedimento operacional padrão (CCPS, 2019). Permite, por exemplo, a identificação de tarefas críticas que são executadas incorretamente por diferentes operadores, indicando uma provável deficiência no treinamento da tarefa em questão.

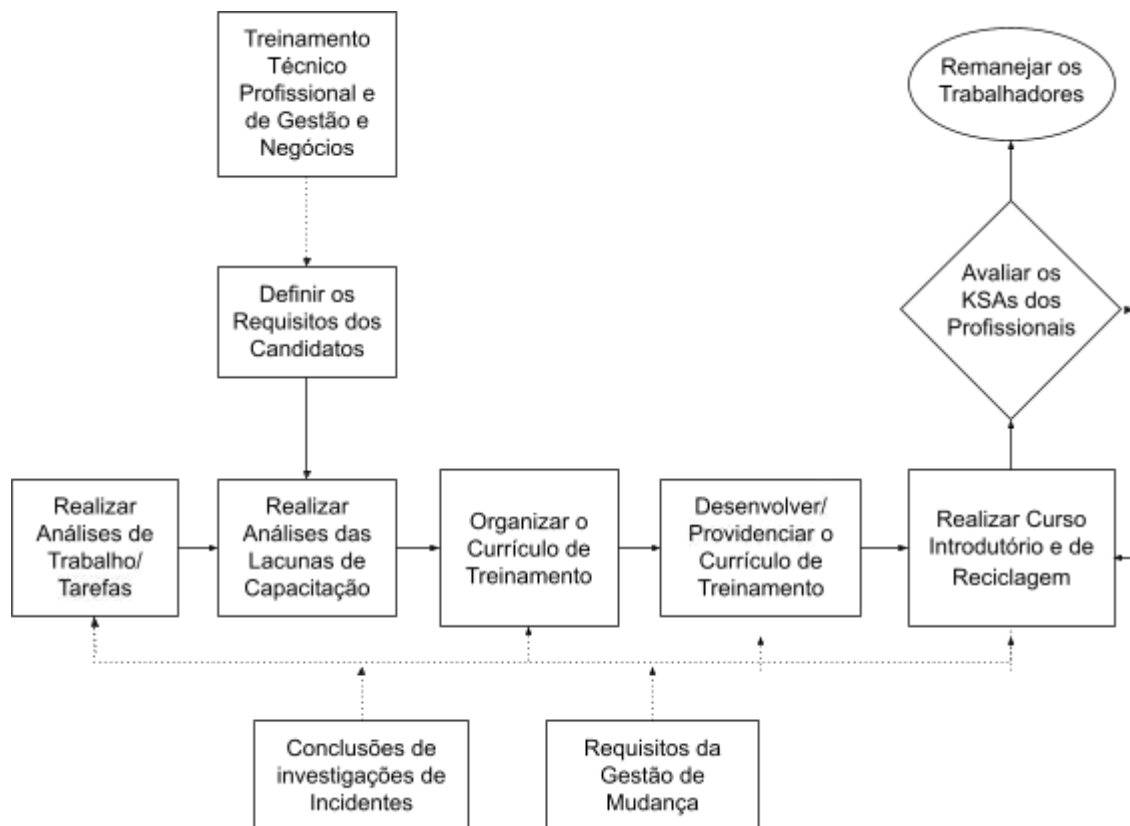
- **Percentual de trabalhadores que requerem treinamento corretivo**

$$\frac{\text{Número de trabalhadores que requerem treinamento corretivo}}{\text{Número total de trabalhadores que recebem treinamento}} \times 100 \%$$

Um percentual alto pode indicar tanto um treinamento deficiente como um intervalo muito longo de reciclagem, por exemplo (CCPS, 2007).

A partir dessa análise, o sistema de garantia de desempenho identifica lacunas para as quais o treinamento complementar se faz necessário e sinaliza a demanda para o setor de treinamento. Esse processo é realizado de forma contínua a fim de garantir um bom desempenho humano na organização, aspecto que influencia no funcionamento de todos os elementos de um sistema de segurança de processos (CCPS, 2007). A figura 9 apresenta um fluxograma que ilustra as tarefas do Sistema de Treinamento e de Garantia de Desempenho, assim como também representa, com setas pontilhadas, entradas no sistema como as demandas de outros elementos, dentre os quais a Gestão de Mudanças e de Emergência.

FIGURA 9 - TAREFAS DO SISTEMA DE TREINAMENTO



Fonte: CCPS, 2007

4.9.2. Gestão de Mudanças (MOC)

Durante o ciclo de vida de uma instalação, diversas modificações são realizadas no processo produtivo para atender aos mais variados tipos de demandas, como por exemplo a implantação de uma nova tecnologia. Tais mudanças, quando realizadas sem o devido gerenciamento e análise, podem introduzir um novo perigo ou aumentar o risco associado ao processo. Dessa forma, o maior objetivo do elemento MOC é garantir que mudanças não adicionem de maneira inadvertida e inconsciente novos perigos ou aumentem riscos no processo (CCPS, 2007). Para atingir esse objetivo, as atividades do elemento se concentram em satisfazer quatro principais questões:

(1) Reconhecer situações de mudança

Para garantir que todas as situações de mudança sejam abordadas pelo elemento, o seu escopo deve ser bem definido. Devem ser discretizados os tipos de mudanças previstas, que são determinadas pelo estudo de registros históricos de manutenção, incidentes, análises de perigos e riscos, auditorias e observação do trabalho. Todo o pessoal da instalação deve receber noções básicas de Gestão de Mudanças para saber interagir com esse elemento sem que haja a transgressão inadvertida do mesmo. Um ponto de atenção na compreensão do escopo é a diferenciação entre casos de mudança e de substituição de peças idênticas (RIK), não abordada pela gestão de mudança. Dessa forma, para evitar a aplicação inadequada do elemento, devem ser fornecidos exemplos de decisões de mudança e de procedimentos de RIK, para que sejam usados na conscientização e treinamento dos funcionários. Finalmente, é de extrema importância monitorar as fontes de mudanças que tenham sido previamente identificadas por meio dos históricos da instalação (CCPS, 2007).

(2) Avaliação dos perigos

A partir da identificação de uma situação de mudança, os possíveis impactos atrelados a ela devem ser avaliados. Cada categoria de mudança possui um risco aparente associado e, dessa forma, exigem níveis diferentes de rigor na análise. Para cada classe de mudança é estabelecida uma lista de informações e dados requeridos, assim como um protocolo de análise. Este indica o número necessário de revisores e suas disciplinas, a ordem de análise, que pode ser realizada em série, paralelo ou em equipes, e em alguns casos a técnica de avaliação de perigo a ser utilizada (CCPS, 2007).

(3) Decisão quanto à permissão para uma mudança a ser feita

Com base no resultado da análise de risco, a gestão delibera sobre a autorização do projeto de ajustes, podendo aceitar o projeto, modificar ou negar a solicitação de mudança (CCPS, 2007).

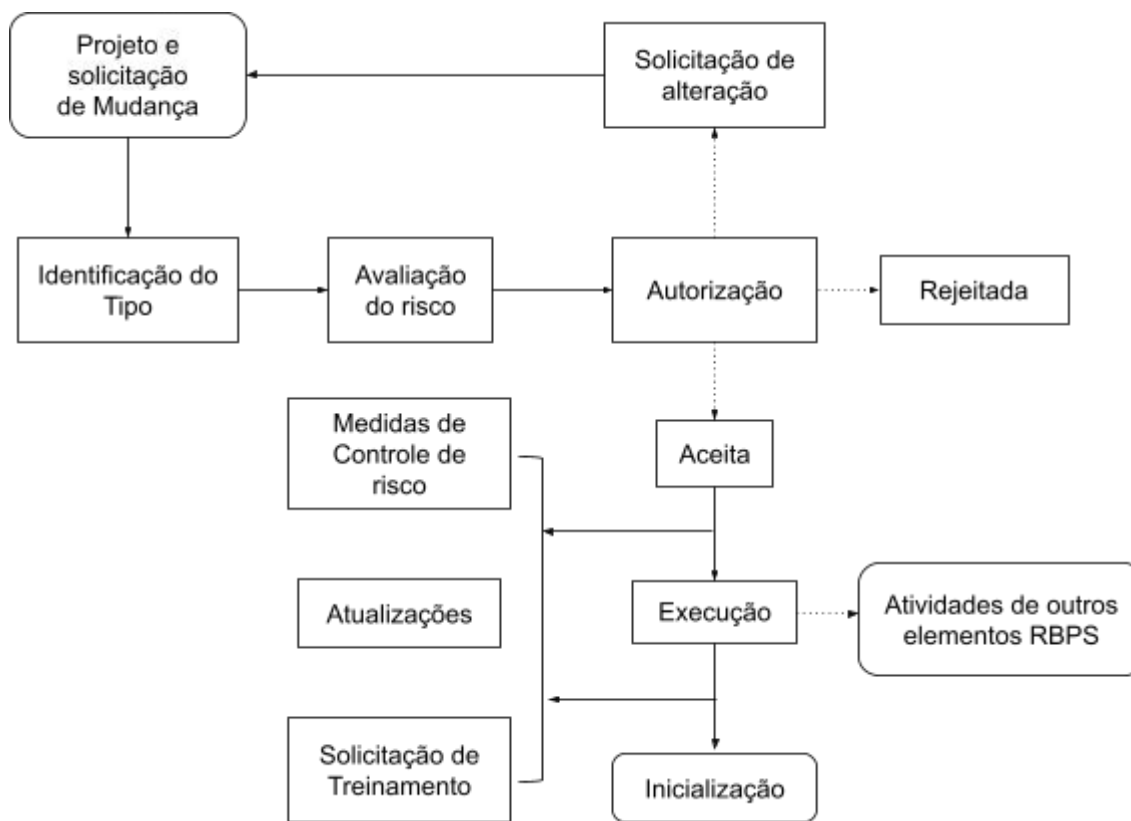
(4) Controle necessário de riscos e medidas de acompanhamento

Autorizada a mudança, com ou sem modificação no seu projeto, inicia-se a fase de implementação, que será realizada mediante as práticas de trabalho de outros elementos do RBPS, como por

exemplo integridade de ativos, procedimentos e trabalho seguro. Os elementos utilizados são condicionados ao tipo de mudança. Antes, durante ou depois da implementação, mas sempre antes da inicialização da operação, o elemento MOC é responsável pelas atualizações em outros elementos referentes à mudança realizada. O elemento deve se encarregar ainda de comunicar todo o pessoal potencialmente afetado pela modificação e assegurar, se necessário, o treinamento dos mesmos. Quando o aumento do risco em uma operação é inevitável, sugestões de medidas adicionais para gerenciar riscos são propostas ou exigidas, de acordo com a necessidade e o risco. De forma resumida, nessa etapa são identificadas e monitoradas as atividades de continuação necessárias, ou seja, os ajustes no sistema de gestão a serem feitos após a mudança em si, como por exemplo as atualizações em outros elementos RBPS (CCPS, 2007).

A figura 10 apresenta um fluxograma que expressa como os quatro principais estágios interagem entre si e com outros elementos do RBPS.

FIGURA 10 - FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES DO ELEMENTO GESTÃO DE MUDANÇAS



Fonte: Adaptado de CCPS, 2007.

4.10. Quarto Pilar: Aprender com a Experiência

O pilar de aprendizado com a experiência desempenha um papel central na manutenção da eficácia em prevenir acidentes. Seus quatro elementos são projetados com o objetivo de evitar a estagnação do sistema, promover a qualidade com melhor utilização de recursos e atender as expectativas da sociedade quanto à segurança. A aplicação eficaz desse pilar impede que haja um declínio de desempenho,

mantendo os negócios da empresa competitivos no mercado e atendendo as expectativas de segurança cada vez mais exigentes de um mundo globalizado (CCPS, 2007).

Para aprender com as experiências e ser capazes de traduzir aprendizados em melhoria contínua de forma eficiente, as organizações devem focar nas seguintes ações (CCPS, 2007):

- Investigar incidentes ocorridos na instalação para a identificação e abordagem das causas-raiz;
- Realizar auditorias para avaliação do desempenho das atividades de trabalho que compõem o sistema de gestão;
- Avaliar o desempenho e empenho para melhoria contínua em áreas com risco significativo;
- Aplicar lições aprendidas com incidentes ocorridos na unidade, em outras unidades e na história do segmento industrial;
- Conduzir análises críticas periódicas para avaliação da conformidade do sistema de gestão com o esperado e para determinação da eficácia das atividades de trabalho no controle do risco.

Essas ações são exercidas pelos quatro elementos que sustentam o pilar. A primeira é atribuída ao elemento **Investigação de Acidentes e Incidentes**. Este é responsável por avaliar cada incidente que ocorre dentro da instalação considerando dois parâmetros: consequência e frequência. Tais parâmetros determinam onde o caso analisado se encaixa no espectro que varia entre alta gravidade com baixa frequência e baixa gravidade com alta frequência. A partir dessa classificação, é determinado o mecanismo de *feedback* de incidente a ser utilizado, que pode ser uma investigação formal de análises de causa-raiz (RCAs), uma investigação menos formal de causas aparentes (ACAs) ou apenas a compilação de dados para realizar a tendência de incidentes, sem que seja realizada qualquer investigação. Após a identificação das causas dos incidentes investigados, o elemento produz recomendações compostas por lições aprendidas e itens de ação, que serão direcionadas a outros elementos de RBPS envolvendo melhorias (CCPS, 2007).

O elemento de **Auditoria** é um sistema para planejamento, alocação de pessoal, realização eficaz e documentação de avaliações periódicas de todos os elementos de RBPS. A auditoria é uma avaliação crítica formal e periódica do sistema de gestão de segurança de processo que identifica e corrige de maneira proativa as deficiências de projeto e implantação do sistema de gestão. Representa um mecanismo de controle importante dentro da gestão global de segurança de processos, além de assegurar a conformidade com as exigências normativas (CCPS, 2007).

O elemento de **Indicadores de Desempenho** tem como objetivo monitorar, por meio de um conjunto de métricas, quase em tempo real a eficácia do sistema de gestão de segurança de processos, de maneira a contribuir para um diagnóstico e para a melhoria contínua do mesmo. O conjunto de indicadores escolhido deve ser suficientemente sensível para monitorar o desempenho e a eficiência do sistema de gestão

como um todo, incluindo indicadores úteis para uma avaliação global do sistema, para monitoramento dos elementos e também para as atividades de trabalho. Todo elemento do RBPS pode ser monitorado mediante um conjunto de indicadores aplicáveis para avaliar seu desempenho. Entretanto, cabe à gestão definir os elementos para os quais o monitoramento em tempo real se faz pertinente, a fim de que não se desperdicem recursos na produção de excesso de informação. A medição não apenas produz resultados numéricos; o elemento, quando bem executado, expõe o interesse da gestão e incentiva os trabalhadores a darem atenção aos parâmetros de medida (CCPS, 2007).

A **Revisão da Gestão** é complementar aos outros três elementos do quarto pilar, principalmente em relação às auditorias periódicas, já que estas, apesar de serem muitas vezes eficazes em identificar lacunas de gestão e práticas, são realizadas segundo um escopo fixo e representam um recorte temporal (afinal, os auditores estão presentes em uma instalação por apenas alguns dias). Esse tipo de amostragem realizado pelas auditorias é suscetível a manipulações que desviam os resultados da realidade, uma vez que funcionários podem ajustar suas práticas e comportamentos na presença de um auditor. Oportunidades de melhoria que fogem ao escopo e momento da auditoria podem ser perdidas. Nesse cenário, a revisão de gestão se torna complementar, visto que não possui limitações de escopo e protocolo e é realizada pela própria gestão, que está presente no dia a dia da instalação. Assim, o procedimento expressa de forma mais fiel a realidade (CCPS, 2007).

O elemento Investigação de Acidentes e Incidentes será detalhado a seguir.

4.10.1. Investigação de Acidentes e Incidentes

O elemento tem como objetivo principal aprender com os próprios incidentes e acidentes. O aprendizado adquirido pode ser aplicado ao incidente específico investigado ou a um grupo de incidentes que compartilham causas semelhantes, de forma a contribuir para a prevenção dos mesmos. Esse aprendizado, que pode ser traduzido em recomendações a serem implantadas e lições a serem comunicadas e reforçadas, pode resultar das duas principais práticas realizadas por este elemento: a investigação dos incidentes e acidentes; e a análise de tendência do banco de dados dos incidentes (CCPS, 2007).

As investigações são sempre realizadas no momento e no lugar em que o incidente ocorreu, permitindo a coleta mais eficiente de dados por meio de entrevistas, evidências físicas e rodas de discussões com o pessoal envolvido. As investigações podem ter caráter mais formal, quando se analisam as causas-raiz (RCA), e menos formal, quando a identificação de causas aparentes (ACA) é suficiente. A decisão entre qual mecanismo de *feedback* de incidente será utilizado em cada caso é feita pela gestão, que define quais combinações de frequência e consequências serão abordadas por cada tipo (CCPS, 2007). A figura 11 ilustra os diferentes níveis de análise da investigação de acidentes.

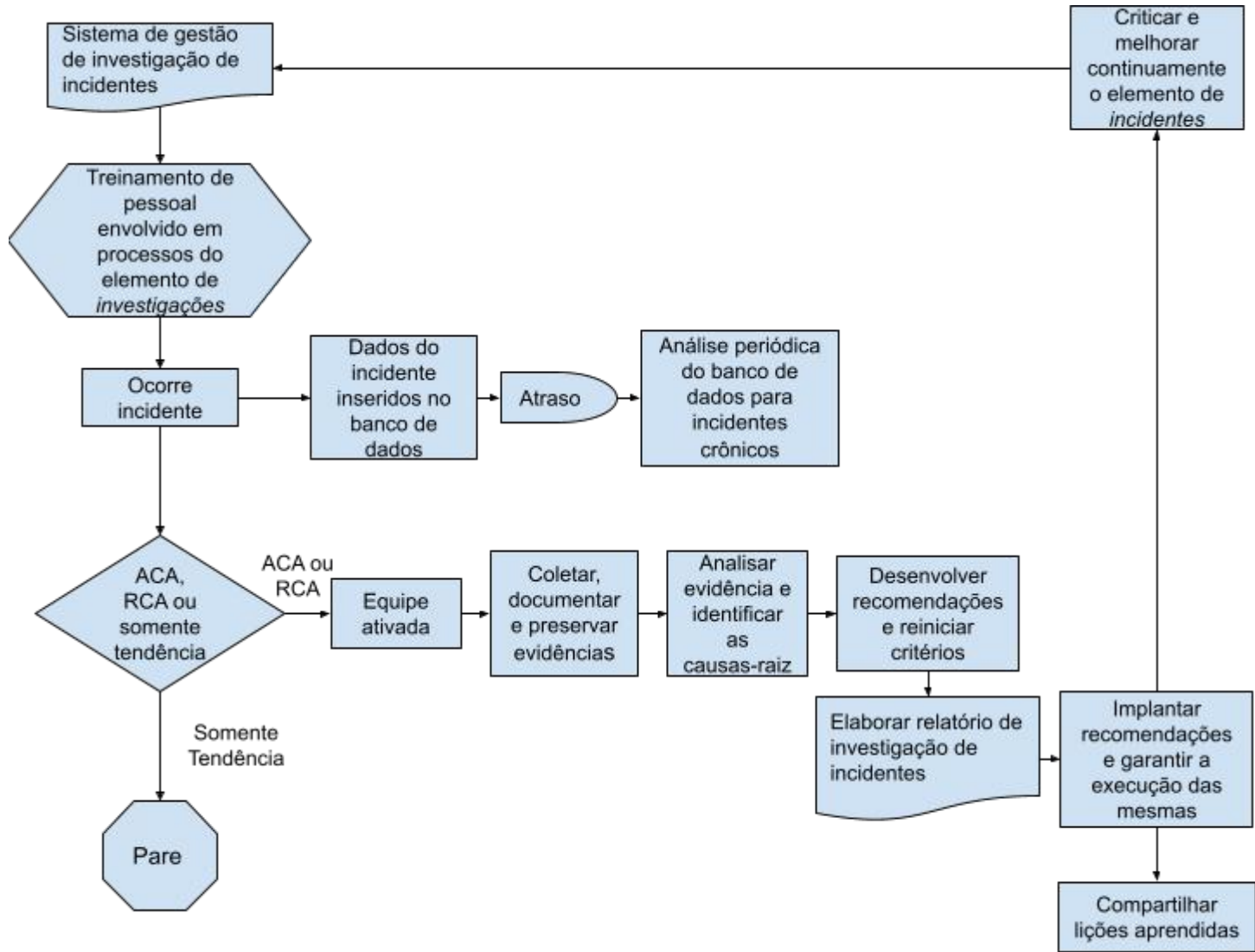
O banco de dados de incidentes é periodicamente analisado para identificação de tendências que possam indicar reincidência de incidentes com risco significativo. (CCPS, 2007). A figura 12 exibe o fluxo das principais atividades do elemento.

FIGURA 11 - NÍVEIS DE ANÁLISE DA INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES



Fonte: CCPS, 2007

FIGURA 12 - ATIVIDADES DO ELEMENTO INVESTIGAÇÃO DE INCIDENTE



Fote: CCPS, 2007

5. VAZAMENTO DE ISOCIANATO DE METILA (MIC) NA UCIL, BHOPAL, 1984

5.1. Histórico

A Union Carbide India Limited (UCIL), fundada em 1934, era uma empresa de manufatura diversificada (UCC, c2020a) da qual, com 50,9%, a Union Carbide Corporation (UCC) era acionista majoritária, enquanto o governo da Índia (GOI) possuía uma parcela de 22% das ações (Trotter, 1989). A Union Carbide foi uma das primeiras empresas americanas a investir na Índia (UCC, c2020a), quando o país ainda era um Estado vassalo do Império britânico, e Mahatma Gandhi já lutava pela independência da nação (Trotter, 1989). No auge das suas operações comerciais, a UCIL chegou a empregar cerca de nove mil pessoas e operar 14 fábricas em cinco divisões do país (UCC, c2020a).

Em meados da década de 70, o governo da Índia lançou políticas de incentivo a empresas estrangeiras para que estas investissem na economia local. Em 1969, a UCC, mediante acordo com o GOI, construiu uma fábrica em Bhopal a fim de produzir o pesticida Servin, muito utilizado na Ásia (Broughton, 2005). A ação visava impulsionar a economia do setor agrícola e atender as necessidades nutricionais de um dos países mais populosos do mundo (UCC, c2020a).

A cidade de Bhopal é capital do estado de Madia-Pradexe e foi escolhida pela UCC para a construção de sua nova planta por possuir infraestrutura de transporte e estar localizada em uma região central da Índia. Entretanto, o local em questão não estava habilitado para receber indústrias químicas perigosas, sendo apenas permitido o comércio e indústrias de baixa periculosidade (Broughton, 2005). Após a inauguração da fábrica, uma comunidade densamente povoada cresceu em seus arredores, e posteriormente, seus residentes foram os mais afetados pelo acidente que ocorreu ali em 1984 (Browning, 1993).

O projeto inicial da planta contemplava apenas a formulação do pesticida, a partir das matérias-primas importadas em quantidades relativamente pequenas (Broughton, 2005). Os constituintes do pesticida, o alfa-naftol e o isocianato de metila (MIC), eram então importados para serem combinados e embalados na unidade (Trotter, Day e Love 1989).

No entanto, devido à pressão da concorrência, em 1977, a empresa iniciou a construção de uma unidade operacional adicional, que visava implementar a chamada integração retroativa. Esta consistia na fabricação das matérias-primas e produtos intermediários na própria unidade de fabricação do produto final. Esse novo processo era inerentemente mais complexo e perigoso (Broughton, 2005). Em 1978, durante a construção, problemas substanciais foram identificados, o que resultou em modificações no planejamento da obra. Esta foi concluída apenas no ano seguinte, e, em 1980, a planta foi considerada operacional (Trotter, Day e Love 1989). A partir dessa data, a unidade produzia MIC e importava dos EUA apenas o alfa-naftol, pois, mesmo tendo sido construída uma planta de produção desse reagente em 1977, todas as tentativas de operá-la falharam (UCC, c2020b). A capacidade da nova planta era de cinco mil toneladas anuais de Sevin, entretanto, essa produtividade nunca foi atingida (Trotter, Day e Love 1989).

Em 1982, foram identificadas dez deficiências de segurança na unidade, e vários casos de desligamento e operação parcial foram evidenciados. Dois dos defeitos identificados ficaram sem solução por um período de dois anos, e a unidade de refrigeração de MIC não foi reparada corretamente e continuava a funcionar de maneira inadequada. Em contrapartida, em junho de 1984, a sede da Union Carbide foi comunicada de que os problemas de segurança identificados em 1982 haviam sido majoritariamente solucionados (Trotter, Day e Love 1989).

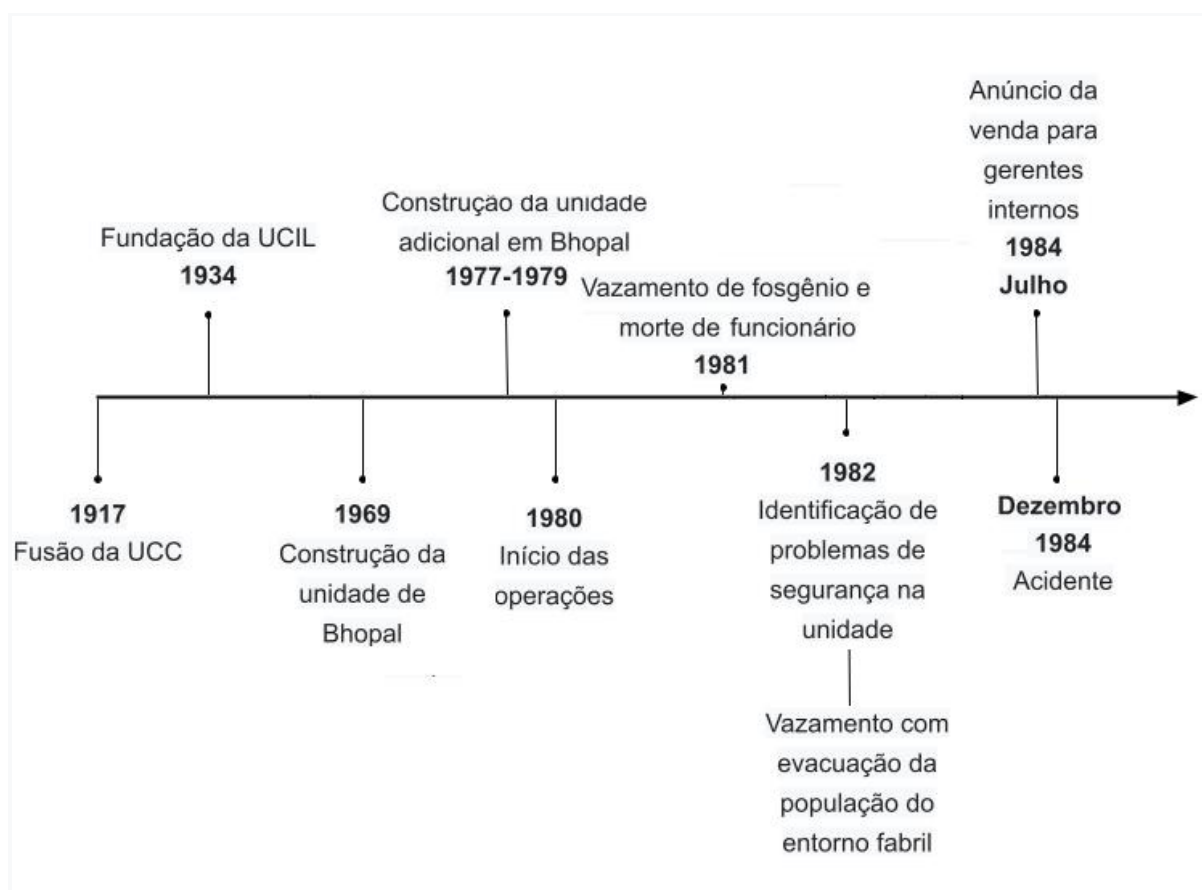
Em paralelo aos problemas de segurança, a instalação sofria com uma queda brusca de lucratividade, devido à quebra de safras generalizada e o conseqüente endividamento do país, que levou à diminuição do financiamento para agricultores comprarem pesticidas (Broughton, 2005). Somado a isso, uma nova classe de pesticidas entrava no mercado indiano, diminuindo a demanda de Sevin (Peterson, 2009). Diante dessas circunstâncias, em julho de 1984, os gerentes locais foram comunicados sobre a intenção de venda da unidade, e, quando nenhum comprador foi encontrado, os planos da empresa mudaram para tentar reaproveitar as principais unidades de produção da instalação ao enviá-las para outro país em desenvolvimento (Broughton, 2005).

Mesmo diante desse cenário, a produção na instalação nunca cessou e permaneceu operando com níveis de segurança muito abaixo dos padrões praticados, por exemplo, por sua planta-irmã no estado da Virgínia Ocidental, EUA (Broughton, 2005).

A situação precária de segurança da planta industrial foi notada de forma tímida e sem muita repercussão pela mídia local. No documentário *Bhopal 84*, produzido pelo canal *Brasil de Fato*, o jornalista Rajkumar Keswani, residente de Bhopal, recorda que um amigo, empregado da fábrica, constantemente se queixava de que a unidade não era um lugar seguro para se trabalhar. Na época, ele não tratou com seriedade as alegações do amigo. Porém, em dezembro de 1981, outro amigo seu, Ashraf Khan, que também trabalhava na fábrica, foi exposto a um pequeno vazamento de fosgênio e faleceu em decorrência do acidente. A morte do amigo Ashraf alarmou o jornalista, que passou a investigar o caso. Após coletar informações, Rajkumar levou quase nove meses para escrever e publicar, em setembro de 1982, em um pequeno seminário, a sua primeira reportagem sobre a unidade de Bhopal da Union Carbide e seus problemas de segurança. Entretanto, a publicação não recebeu a atenção nem gerou o impacto esperado pelo autor. Persistindo, o jornalista publicou então, em primeiro de outubro de 1982, uma segunda reportagem com o título: *Bhopal sentada no topo de um vulcão*. Três dias após essa publicação, ocorreu um pequeno vazamento de fosgênio na fábrica que obrigou a vizinhança a evacuar o local. Ele então escreveu sua terceira reportagem, em 8 de outubro, que continha a mensagem: “Se vocês não entenderem, todos serão exterminados”. Sua última matéria sobre os riscos daquela fábrica foi publicada em 16 de junho de 1984 (*Bhopal 84*, 2020).

O governo da Índia, mesmo estando ciente dos problemas de segurança da fábrica, foi conivente com a negligência ao não aplicar as devidas medidas de controle legais, pois temia os impactos econômicos da saída da empresa do país (Broughton, 2005). A figura 13 mostra uma linha do tempo com os principais marcos históricos desde a fundação da Union Carbide Corporation até o acidente de Bhopal.

FIGURA 13 - LINHA DO TEMPO CASO BHOPAL



Fonte: Elaborada pelos autores.

Em contraste com o cenário apresentado na Índia, o incentivo que a Union Carbide Corporation e suas afiliadas colocavam em operações seguras nos EUA, desde 1930, envolvendo rígidos padrões internos de segurança, posicionou a empresa, na época de Bhopal, entre os fabricantes com os melhores registros de segurança do trabalhador. Uma iniciativa importante da Carbide, juntamente com outras empresas, foi a fundação do Instituto de Toxicologia da Indústria Química, em 1974, com o objetivo de estudar os efeitos da exposição a substâncias químicas perigosas. Dessa forma, a empresa estava bem preparada para obedecer às regulamentações ambientais e de segurança que surgiram nos Estados Unidos entre as décadas de 70 e 80: estabeleceu-se um departamento para supervisionar a segurança do produto e trabalho, medir impactos ambientais e monitorar a concordância com rígidos padrões médicos (Browning, 1993).

5.2. O Processo

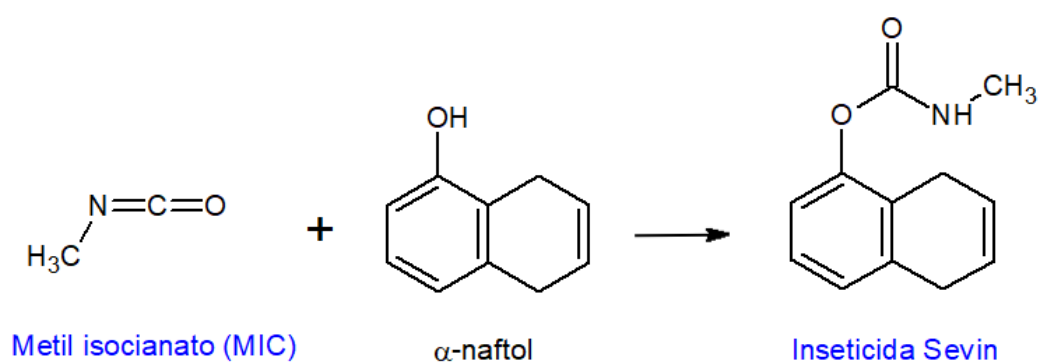
O acidente apresentado neste capítulo ocorreu na unidade de armazenamento de MIC da instalação de produção de inseticida Sevin em Bhopal. Nos itens a seguir, serão descritas as rotas de produção do produto final, o Sevin, e do intermediário MIC, assim como será detalhada a estrutura de armazenamento de MIC da unidade, incluindo as suas salvaguardas.

5.2.1. Produção de Sevin

Sevin é o nome comercial para o composto químico carbaril, pertencente à família dos carbamatos, que são ésteres de ácidos carbâmicos. Os inseticidas à base de carbamato são sintetizados a partir da reação de MIC com fenóis ou naftóis (Ayres, 1987) e atuam no organismo do inseto com ação anticolinesterásica, atacando o sistema nervoso, tanto por ingestão como por contato. É um pesticida amplamente utilizado, principalmente pela agricultura, na produção de algodão, vegetais, frutas e cereais (Ferrucio, 2015).

A UCC produzia o inseticida a partir da reação do MIC em fase líquida com o α -naftol, como mostrado na figura 14.

FIGURA 14 - REAÇÃO DE OBTENÇÃO DO CARBARIL



Fonte: Elaborada pelos autores.

É interessante destacar que a rota utilizada pela Carbide para a obtenção do carbaril não era a única viável. A outra rota possível seria a reação na fase vapor do fenol, ou naftol, com o gás fosgênio, seguida pela reação com a metilamina (MMA). Utilizando essa via de produção, não haveria a necessidade de armazenagem de MIC, entretanto, a indústria química como um todo favoreceu o uso da rota praticada pela UCC, em vista do receio de se armazenar grandes quantidades de gás fosgênio (Ayres, 1987).

5.2.2. Produção de MIC

O MIC é um isocianato fortemente reativo, volátil (PE: 39°C), mais denso que o ar (ρ_v : 2.0), bastante inflamável e altamente tóxico (TLV = 0.02ppm) (Ayres, 1987). Os danos ao organismo humano incluem lesão oftálmica grave, edema agudo do pulmão com destruição alveolar e irritação cutânea (Bhopal 84, 2020).

O componente é utilizado na síntese de vários pesticidas, como o Aldicarb ("Temik"), Baygon, Carbaril ("Sevin") e Carbofuran ("Furaden"), e também na produção de poliuretanos, que são a base de espumas,

vernizes e plásticos. A UCC foi uma das maiores produtoras de MIC na década de 80 nos EUA, tendo fabricado cerca de 20 mil toneladas ao ano, a maior parte sintetizadas na sua fábrica em Institute, Virgínia Ocidental. Em comparação, a produção em Bhopal, que iniciou o uso da tecnologia de MIC da UCC em 1980, chegou a um máximo de mil toneladas ao ano, dimensão que demonstra sua reduzida escala em relação à unidade nos EUA (Ayres, 1987).

A tecnologia da UCC de síntese de MIC se dava utilizando metilamina (MMA) em fase líquida e se diferenciava do processo descrito na literatura por Gatterman e Schmidt, que empregava o MMA em fase gasosa e envolvia mais etapas e temperaturas mais altas. A produção de MIC pela UCC se dava em apenas uma etapa, na qual o gás fosgênio era passado por uma solução de MMA e solvente inerte, que poderia ser clorofórmio, por exemplo, a uma temperatura variando entre 30°- 50° C,. Com a reação, o MIC era liberado e coletado na sua forma vapor (Ayres, 1987).

Dentre os reagentes usados na produção de MIC, vale destacar o gás fosgênio, por sua alta toxicidade (TLV: 0.01 ppm) e histórico de utilização como arma química de guerra. Após ser empregado na Primeira Guerra Mundial, o componente foi banido pelo Protocolo de Genebra, que proíbe armas químicas e biológicas em conflitos, em 1925, mas ainda assim foi usado por Hitler durante a Segunda Guerra. A UCIL requereu uma licença de produção de MIC utilizando gás fosgênio em 1970, a qual só foi deferida pelo governo indiano cinco anos depois (The Newswire, 2010). Devido a todo o conhecimento sobre a letalidade da substância que a humanidade adquirira, ela era armazenada em Bhopal em pequenas quantidades, que eram rapidamente utilizadas pela produção (Chemello, 2010). Entretanto, a medida não foi o suficiente para evitar acidentes e mortes devido ao gás na fábrica de Bhopal. Em um período menor que um ano, entre 1981 e 1982, três vazamentos de fosgênio ocorreram, envolvendo uma fatalidade em um deles (The Newswire, 2010).

5.2.3. Unidade de armazenamento de MIC e salvaguardas

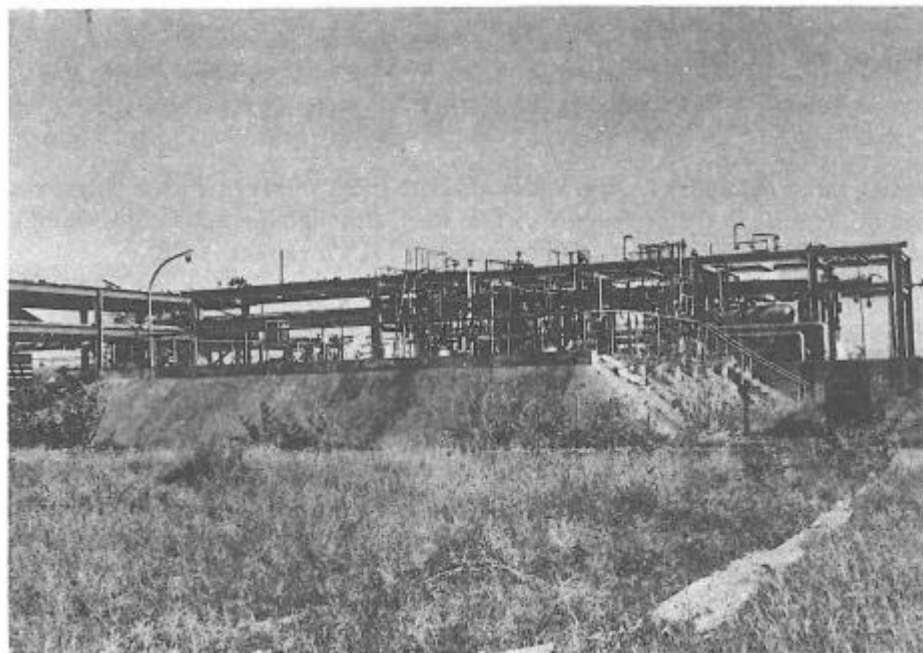
Havia três tanques, denominados 619, 610 e 611, de capacidade máxima de 60 toneladas cada, para armazenamento de MIC na UCIL. Uma vez que o MIC puro é reativo na presença de zinco, estanho, cobre e ferro, os tanques de parede dupla foram feitos de aço inoxidável. Outra característica do design da planta que também levou em consideração a reatividade do MIC foram os sistemas de refrigeração que cada tanque continha, assim como também seu posicionamento abaixo do nível do solo com envoltória de concreto, a fim de amenizar as altas temperaturas que a região da Índia apresenta e manter com maior facilidade a temperatura dos tanques abaixo de 15°C, preferencialmente próxima de 0° C (Ayres, 1987). A figura 15 é uma foto do local do armazenamento subterrâneo de MIC na planta de Bhopal.

Além da manutenção, pelo sistema de refrigeração, da temperatura desejada, as condições de armazenamento de MIC nos tanques incluíam a manutenção de uma atmosfera interna inerte, por meio da injeção de gás nitrogênio, entre 2 e 10 psi acima da pressão atmosférica; a utilização de no máximo

50% da capacidade dos tanques, sendo um deles sempre deixado de *stand-by* para casos de emergência; o tempo de armazenamento, que não deveria ultrapassar dois meses; a utilização de refrigerantes inertes ao MIC, como o clorofórmio ou algum da classe dos clorofluorcarbono; e a inspeção e limpeza regular das tubulações e válvulas (Ayres, 1987).

Além dos tanques, a unidade de armazenamento possuía outros equipamentos de segurança e de tratamento de gases efluentes. Como mostra a figura 16, válvulas ligavam os tanques a um *flare*, passando por um lavador de gases, o qual neutralizava os gases tóxicos e o MIC utilizando soda cáustica.

FIGURA 15 - LOCAL DO ARMAZENAMENTO SUBTERRÂNEO DE MIC



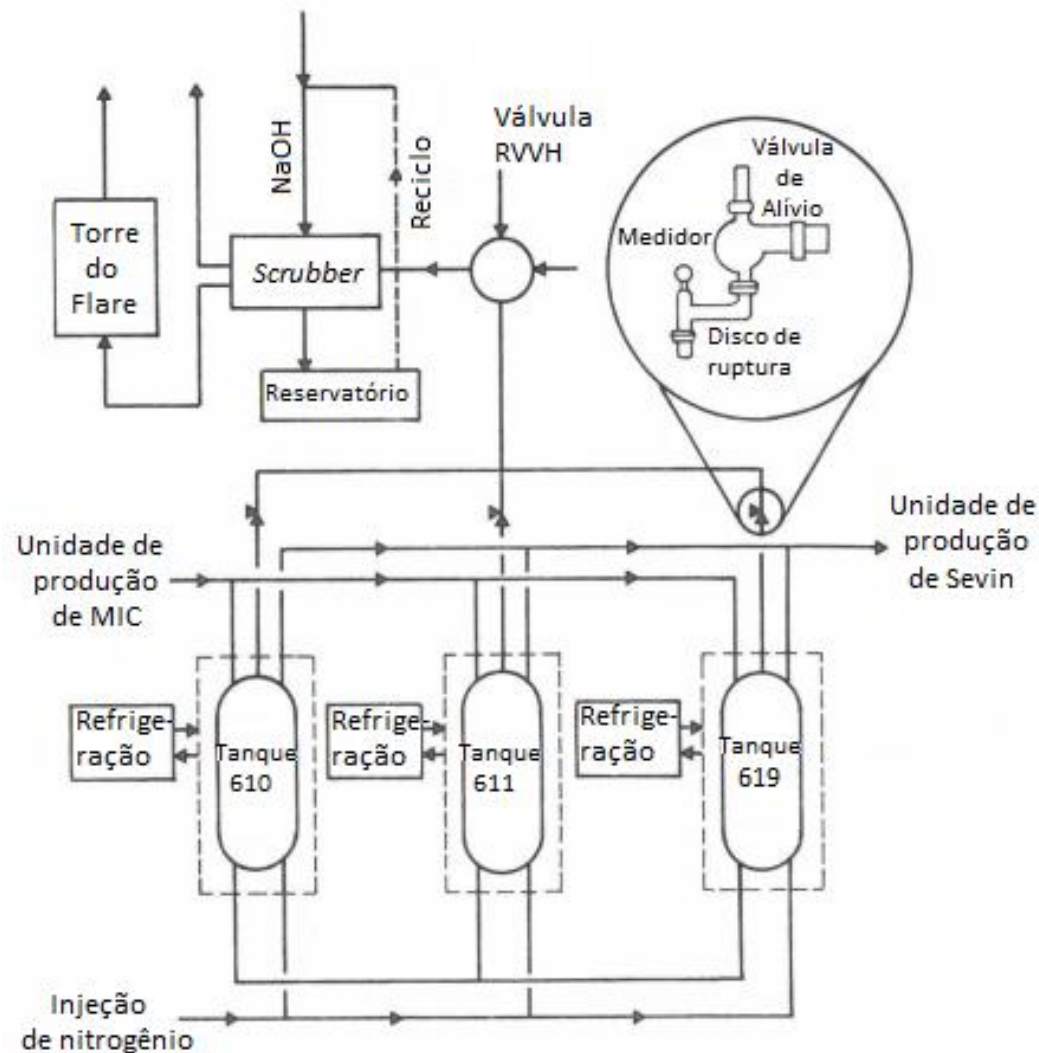
Fonte: Ayres, 1987

Dessa forma, a unidade de armazenamento de MIC possuía um total de seis dispositivos de segurança, a saber (Ayres, 1987):

- Tanques interconectados por válvulas, caso fosse necessário o alívio de pressão de algum deles;
- Sistemas de refrigeração em cada tanque para manter a temperatura do MIC armazenado dentro dos limites de segurança (0°-15°C);
- Um lavador de gases tipo *scrubber* que utiliza soda cáustica, com capacidade de neutralizar até oito toneladas de MIC por hora;
- Um *flare*, utilizado para queimar gases residuais do depurador como de escape de MIC dos tanques;
- Um dispositivo de cortina d'água, utilizado para absorver pequenos vazamentos de MIC, que atingia até cerca de 15 metros acima do nível do solo;

- Uma sirene, que servia para alertar os empregados e a comunidade vizinha sobre a ocorrência de um vazamento descontrolado de substância perigosa.

FIGURA 16 - UNIDADE DE ARMAZENAMENTO DE MIC



Fonte: Adaptada de Ayres, 1987.

5.3. O Acidente

Antes mesmo de apresentar a cronologia do acidente, faz-se necessário contextualizar as condições operacionais e estruturais da instalação no dia 2 de dezembro de 1984, logo antes de se iniciar uma série de falhas de segurança.

5.3.1. Condições de operação, equipamentos e sistemas de segurança no dia 2 de dezembro 1984

Desde junho de 1984, o sistema de refrigeração dos tanques de MIC estava desligado (Peterson, 2009), supostamente para economizar energia elétrica (Ayres, 1987), e seu fluido refrigerante havia sido drenado para ser reutilizado em outra operação na fábrica (Peterson, 2009). O sistema de refrigeração tinha o papel de manter o MIC em uma temperatura ideal, entre 0-5 °C, faixa em que o componente é menos

reativo (Peterson, 2009). Entretanto, era comum no dia a dia da instalação o tanque estar a 20°C, mesmo que o máximo especificado pelo manual de operação fosse de 15°C (Ayres, 1987). Isso demonstra que a planta possuía uma cultura de segurança fraca e permissiva para níveis baixos de desempenho na qual o descumprimento de procedimentos operacionais foi normalizado.

Além da refrigeração, outro equipamento que foi desligado, mas sob alegações de manutenção, foi o lavador de gases do tipo *scrubber*, cujo suprimento de soda cáustica estava bem baixo. Além disso, a tubulação que ligava os gases de saída do *scrubber* ao *flare* estava desconectada (Ayres, 1987). O próprio *flare* estava desligado desde novembro para reparo de tubulação corroída, de maneira que os gases do processo de produção de MIC eram redirecionados para o *scrubber* (Peterson, 2009).

Em dezembro de 1983, foi instalado um atalho, ou *jumper line*, conectando o *scrubber*, através de uma válvula de isolamento (RVVH *isolation valve*), com a entrada dos tanques de MIC. A conexão passava por uma válvula de processo para isolamento (PVH *isolation valve for MIC tank*) dos mesmos, com o objetivo de simplificar a manutenção (Peterson, 2009). Entretanto, o gerenciamento de mudanças não foi aplicado para a realização dessa modificação estrutural da planta, tendo em vista que nenhuma atualização em procedimentos operacionais foi realizada ou qualquer medida de controle foi implantada.

Em vista do plano de descomissionamento da instalação e reaproveitamento de seus equipamentos em outro país e de incertezas quanto ao fornecimento de alfa-naftol, já que o acordo de colaboração com a UCC, que fornecia o reagente, estava prestes a expirar em 1º de janeiro de 1985, decidiu-se realizar uma última batelada de MIC com todo o estoque restante de foscênio e metilamina da unidade. Após essa batelada, que resultou em 42 toneladas estocadas no tanque 610 e cerca de 20 toneladas no 611, a unidade de produção de MIC foi desligada para manutenção. O estoque de MIC produzido seria então utilizado em pequenos lotes de uma tonelada por vez na produção de Sevin (Peterson, 2009). Ou seja, na data do acidente, o tanque 610 armazenava cerca de 70% da sua capacidade máxima, apesar de o limite permitido ser de 50%. Além disso, o tanque 619 continha pouco menos de uma tonelada de MIC, em contrariedade à especificação de se deixar um tanque de *stand-by*. Havia ainda um agravante: seu medidor de nível estava completamente descalibrado e mostrava que o tanque estava cerca de 20% cheio. É importante destacar que muitos medidores na instalação não estavam funcionando de maneira apropriada e confiável (Ayres, 1987), situação que indica a ineficiência da gestão em garantir a integridade dos ativos e a confiabilidade na planta.

Uma semana antes do evento, a instalação sofreu mais um corte de recursos, com a eliminação do posto de supervisão de manutenção do turno da noite (Peterson, 2009). A alteração prejudicou a equipe de manutenção em termos de competência, já que nenhum plano de transição e atribuição de responsabilidade foi executado após o corte.

Finalmente, dias antes do acidente, operadores da planta tentaram sem sucesso pressurizar o tanque 610 com nitrogênio, mas não relataram o problema à gerência. Isso indica que o tanque permaneceu despressurizado (Veltri, 2020).

5.3.2. Cronologia do acidente

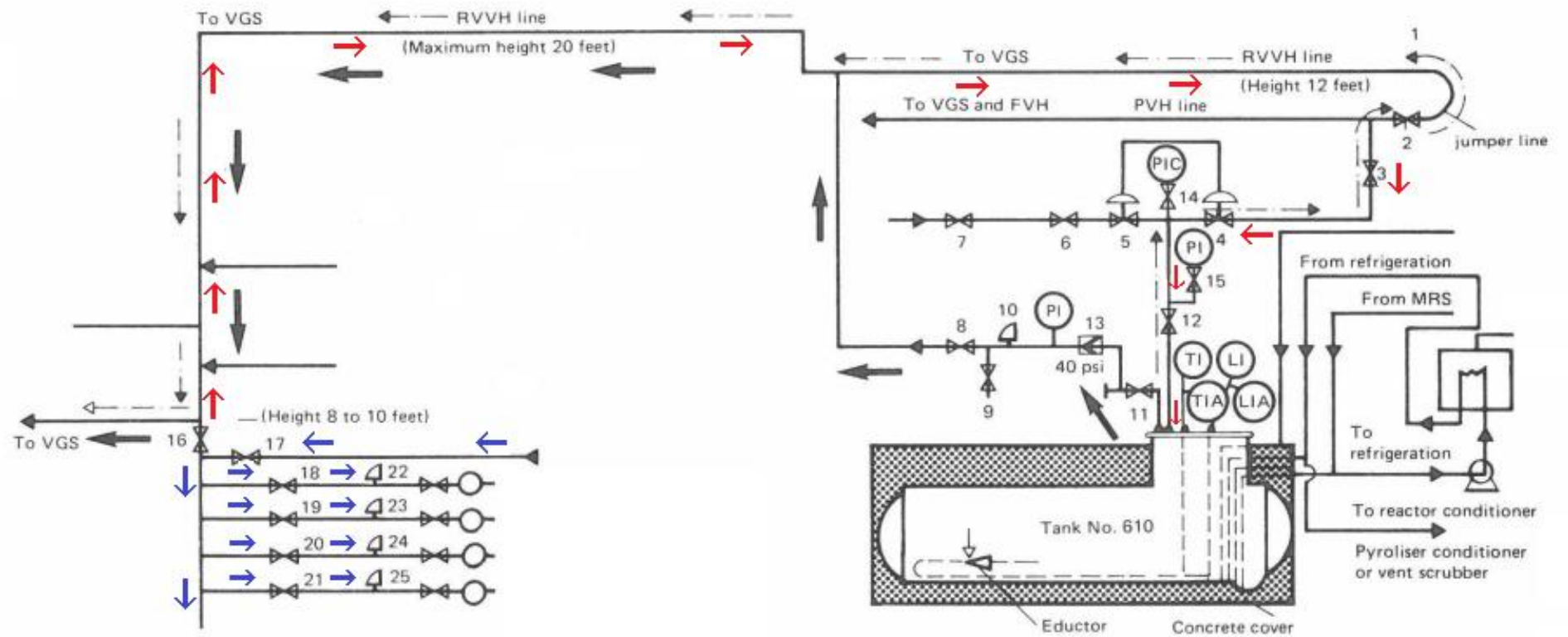
Por volta das nove horas da noite do dia 2 de dezembro de 1984, foi iniciado um procedimento rotineiro de lavagem de tubulação. Este deu início a uma série de eventos que culminaram no vazamento de cerca de 30 toneladas de MIC. Abaixo serão apresentados, em ordem cronológica, marcos relevantes ao acidente e seus horários. Deve-se salientar que a hipótese de sucessão de eventos descrita neste item é a mais aceita entre a maioria dos autores que publicaram estudos sobre o evento (Peterson, 2009). Mais adiante, no tópico de investigação do acidente, serão discutidas uma segunda teoria e as circunstâncias ligadas a ela.

A figura 17 apresenta a rede de tubulações e válvulas que liga os tanques a outros equipamentos e diferentes áreas de processamento, incluindo a seção que seria lavada. Já a figura 18 representa o lavador de gases *scrubber* e suas respectivas entradas e saídas. Ambas as imagens serão mencionadas na descrição cronológica a seguir, a fim de auxiliar a compreensão do leitor sobre o caso.

20-21h É solicitado ao turno da noite, em nota emitida pela manutenção (Ayres, 1987), a lavagem dos dutos que conectam o sistema de fogsênio ao *scrubber*. Entretanto, um procedimento de segurança que deveria ser realizado antes da lavagem não é efetuado. Esse procedimento consiste na inserção de um disco de metal, o *slip blind* (ou, em português, raquete), na entrada da RVVH *isolation valve* (Figura 17, 16), de modo a impedir que a água entre no sistema de tubulações que levaria ao tanque de MIC. A execução dessa medida é de responsabilidade da manutenção e leva cerca de trinta minutos a duas horas para ser realizada. Contudo, como consequência de uma comunicação ineficiente, os operadores da unidade de armazenamento de MIC não estão cientes do procedimento previsto no manual (Peterson, 2009), descumprem o procedimento e não raqueteiam a tubulação.

21h30 O procedimento de lavagem se inicia (ver “rota de lavagem”, representada pela seta azul, na figura 17). Porém, uma das saídas de purga está entupida, fazendo com que a água retorne passe pela RVVH *isolation valve* (Figura 17, 16) e atinja a RVVH line (ver “rota de ingresso da água”, representada pela seta vermelha, na figura 17), localizada seis metros acima do nível do solo (Peterson, 2009). Aparentemente, a RVVH *isolation valve*, que normalmente permanece fechada, está com defeito (Ayres, 1987). O trabalhador relata que, ao perceber que a água não estava escoando pela purga, interrompeu o fornecimento de água, mas o supervisor da planta ordena que o procedimento continue (Peterson, 2009). Essa decisão demonstra a competência insuficiente para exercer um cargo de liderança do supervisor, pois, mesmo sendo alertado por seu subordinado, ele aceita o desvio frente à operação-padrão, contrariando a política de conduta das operações a fim de evitar uma parada operacional.

FIGURA 17 - TANQUE 610 E CONEXÕES

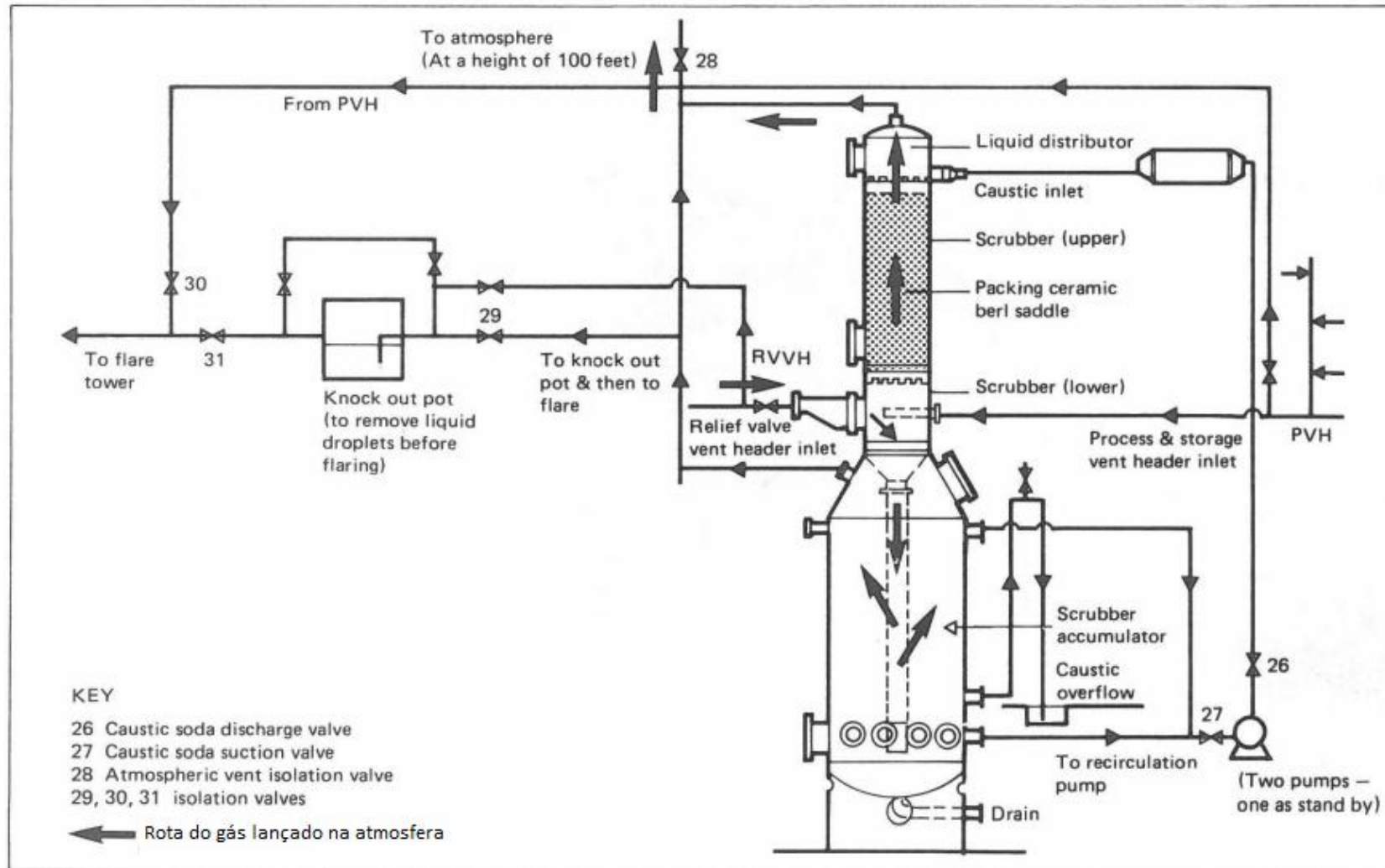


Key:

- | | | | |
|---|---|--|---------------------------------------|
| 1. Interconnection RRVH isolation valve | 7. Nitrogen header isolation valve | 13. Rupture disk | ▶ 22, 23, 24, 25. Bleeder valves |
| 2. Interconnection PVH isolation valve | 8. RRVH isolation valve | 14. PIC isolation valve | RRVH - relief valve vent header |
| 3. PVH isolation valve | 9. RRVH bleeder valve | 15. PI isolation valve | PVH - process valve vent header |
| 4. Blow down DMV | 10. Relief valve for MIC tank | 16. RRVH isolation valve | VGS - Vent gas scrubber |
| 5. Make up DMV | 11. First RRVH isolation valve for MIC tank | 17. Valve from which water for flushing was let in | FVH - flare vent header |
| 6. Check valve for nitrogen line | 12. First PVH isolation valve for MIC tank | 18, 19, 20, 21. Down-stream isolation valves for filters | MRS - MIC reactor side |
| | | | ← Rota de lavagem |
| | | | → Rota de ingresso da água |
| | | | ◁ Rota do vazamento de gás (< 00:30h) |
| | | | ◁ Rota do vazamento de gás (> 00:30h) |

Fonte: Adaptada de Ayres, 1987.

FIGURA 18 - LAVADOR DE GASES DO TIPO SCRUBBER E CONEXÕES



Fonte: Adaptada de Ayres, 1987.

22h30 A água entra no tanque 610 de MIC realizando o trajeto (ver “rota de ingresso da água”, representada pela seta vermelha, na figura 17) que passa pela *jumper line* e posteriormente atravessa duas válvulas (Figura 17, válvulas 2 e 3), as quais normalmente são mantidas abertas (Peterson, 2009) com o objetivo de conectar a *RVVH line* com a *PVH line* (Ayres, 1987). Em seguida, o caminho segue passando pela válvula *blow down* (Figura 17, válvula 4), que faz parte do sistema de pressurização dos tanques por injeção de nitrogênio, e que gera dúvidas quanto a ter sido deixada aberta ou ter falhado e não ter fechado completamente. Por fim, a água atravessa a *PVH isolation valve* (Figura 17, válvula 12), normalmente deixada aberta, e chega ao tanque (Peterson, 2009), que, na ocasião do acidente, não estava pressurizado (Veltri, 2020).

22h30-22h45 Mudança de turno; procedimento de lavagem continua sob supervisão do terceiro turno (Peterson, 2009).

23h Na sala de controle, um operador nota que o medidor de pressão do tanque 610 indica 10 psi. Isso chama sua atenção, já que, no início de seu turno, o medidor marcava 2 psi. Entretanto, nenhuma medida é tomada para averiguar a alteração do parâmetro, tendo em vista que a pressão está dentro da faixa operacional aceitável de 2-25 psi (Peterson, 2009). A temperatura indicada do tanque está acima de 20°C, mas os operadores da sala de controle inferem que o sensor de temperatura está com defeito (Ayres, 1987). Esses sinais de alerta são percebidos pelos funcionários, mas são ignorados sem uma investigação da causa-raiz. A inação evidencia um baixo nível de envolvimento da força de trabalho com as questões de segurança.

23h30 Operadores da unidade sentem uma leve irritação nos olhos, sintoma conhecido pelos trabalhadores devido a outros episódios de vazamentos de MIC ocorridos anteriormente na instalação. Assim, os trabalhadores começam a procurar pela fonte de vazamento na unidade (Ayres, 1987). O vazamento é então identificado ao lado do *scrubber*, na tubulação que o liga à válvula *RVVH* (Ver “rota de vazamento de gás antes da 00h30”, na figura 17). Imediatamente, os operadores jogam água no local, a fim de neutralizar o MIC, e então informam o supervisor, que estava na sala de controle, sobre o escape e as medidas tomadas (Peterson, 2009). O supervisor não trata o assunto com a devida urgência ao decidir realizar normalmente a pausa para o café e, só depois, lidar com a situação reportada (Ayres, 1987). A atitude evidencia o baixo senso de vulnerabilidade existente na planta frente a cenários altamente perigosos.

0h15 Operador da sala de controle nota que o medidor de pressão do tanque 610 acusa 25-30 psi, acima da faixa aceitável de operação (Ayres, 1987).

0h30 O operador, na sala de controle, faz novamente a verificação do medidor de pressão e percebe que a agulha do instrumento atingiu seu ponto máximo de leitura, em 55 psi. Ele então desce para a área de armazenamento dos tanques para verificar se há algum problema com o medidor. Ao chegar ao local, o trabalhador ouve o barulho do gás rompendo a válvula de alívio e estrondos vindos do tanque e sente um fluxo de calor vindo da mesma direção (Peterson, 2009). As ocorrências, observadas pelo operador, culminam no vazamento do gás pressurizado pelo topo do *scrubber* (Ver “rota de vazamento de gás

depois da 0h30”, na figura 17; e “rota do gás lançado na atmosfera”, na figura 18) e pela rachadura do concreto ao redor do tanque, o que indica que a temperatura do mesmo poderia estar próxima dos 400°C. (Ayres, 1987). Ao retornar para a sala de controle, o operador tenta sem sucesso acionar o *scrubber*, a fim de neutralizar o gás liberado, mas o sistema não envia soda cáustica ao equipamento, que parece não funcionar (Peterson, 2009). É sugerido verificar pessoalmente se o lavador de gás está operando; entretanto, o funcionário se recusa a ir sem ser acompanhado pelo supervisor, que também declina a própria proposta (Ayres, 1987).

0h40-0h45 O supervisor suspende as operações da planta de MIC e aciona tanto a sirene interna como a externa de vazamento de gás. Entretanto, suspendem o alarme passados cinco minutos. Operadores tentam utilizar o pulverizador de água de incêndio para neutralizar o gás liberado no topo do *scrubber*, mas a água não atinge a altura necessária (Peterson, 2009). O procedimento de limpeza das tubulações, iniciado às 22h30, é interrompido apenas às 00:45 (Ayres, 1987). As tentativas falhas da operação em tentar mitigar os danos e as dúvidas quanto às ações a tomar frente a um cenário acidental são fruto de uma gestão de emergência deficiente que levou à total perda de controle da situação.

0h45-1h O supervisor da planta percebe que o medidor de nível do tanque 619, designado para ser *stand-by*, aponta que o mesmo está parcialmente cheio. Isso impede a operação de abrir a válvula que conecta os dois tanques, para que se alivie a pressão do tanque 610 (Ayres, 1987). Nesse intervalo, os residentes de Bhopal são acordados pelo efeito do gás, e o pânico se instala nas ruas da cidade (Peterson, 2009). À uma da manhã, a maioria dos trabalhadores da fábrica já evacuou o local (Ayres, 1987).

1h30 A polícia de Bhopal é informada, mas não pela empresa, sobre o vazamento e o pânico que se instalou na cidade. Entretanto, nenhuma ação por parte da polícia é tomada neste momento (Peterson, 2009), o que evidencia a comunicação pobre e até inexistente entre a UCIL e seus *stakeholders*.

2h30 A sirene externa de alerta de vazamento é acionada novamente (Peterson, 2009).

2h40 Horário estimado para o fim do vazamento de gás (Peterson, 2009).

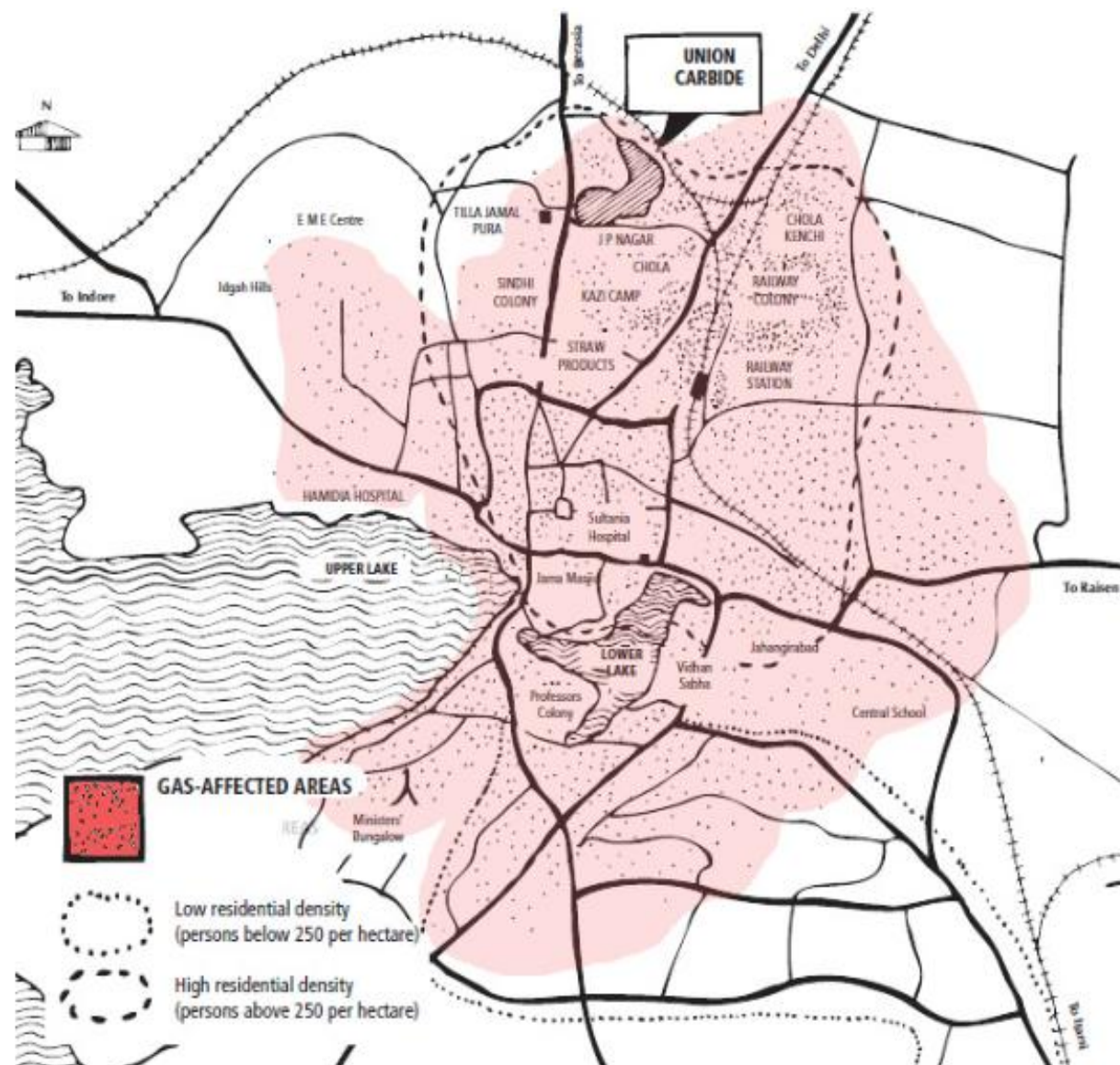
3h O Exército é acionado para ajudar a evacuar os trabalhadores remanescentes na fábrica e expande suas operações para auxiliar a população local ao transportar feridos para o hospital. Médicos da cidade correm para os hospitais para atuar no atendimento de emergência (Peterson, 2009).

5.4. Impactos

A sequência de eventos descrita acima resultou na liberação de cerca de 30 toneladas de gases tóxicos que atingiram não só a região da instalação, mas toda a cidade de Bhopal, onde habitavam 894.539 (The Bhopal Medical Appeal, c2021) pessoas na época. O gás se espalhou por uma área de cerca de 40 km² e afetou mais de meio milhão de pessoas (India Environment Portal, [s.d]). A figura 19 exhibe o mapa da

cidade de Bhopal, em que é indicado o local da planta da Union Carbide e são demarcadas as áreas de alta e baixa densidade populacional, bem como aquela afetada pelo gás.

FIGURA 19 - ÁREA AFETADA PELO VAZAMENTO DE GÁS, Bhopal, 1984



Fonte: India Environment Portal, [s.d].

Como pode ser observado na figura 19, a área mais densamente povoada era a mais próxima à instalação da Carbide. Ocorreu que, após o estabelecimento da planta em Bhopal, muitas pessoas foram atraídas para o local em vista da oportunidade de emprego e acesso a água. Assim, se estabeleceu uma comunidade no entorno fabril (Ayres, 1987). Em 1982, a Union Carbide demandou das autoridades governamentais locais o estabelecimento de uma zona “greenbelt” nas adjacências, a fim de frear o crescimento de tais comunidades, mas o pedido não foi atendido pelo governo (Peterson, 2009). Dois anos depois, o governo do estado de Madia Pradexe regularizou a ocupação da comunidade, concedendo propriedade legal aos seus residentes (Ayres, 1987). Essa população foi a primeira e a mais severamente afetada pelo gás liberado no acidente.

Outro ponto que ampliou muito o número de mortes foi o atendimento médico ineficiente, em grande parte devido ao desconhecimento dos médicos acerca das substâncias às quais os pacientes haviam sido expostos. É comum na literatura a simplificação do gás vazado no evento como sendo apenas MIC, devido às incertezas acerca da real composição do gás. A UCC nunca declarou com detalhes o que a nuvem tóxica continha e, apesar de ter inicialmente recomendado tiosulfato de sódio (medicamento utilizado em casos de envenenamento por cianeto) para tratamento das vítimas, mais tarde retirou sua recomendação e negou a presença de cianeto de hidrogênio (HCN) no vazamento (Broughton, 2005). Não existem dúvidas de que o MIC era o principal componente do gás liberado. No entanto, pesquisas mostram que, se o MIC for submetido a temperaturas superiores a 350°C, ele se degrada em gás cianeto, óxidos de nitrogênio e monóxido de carbono. E, apesar de não haver evidências circunstanciais de que o tanque 610 atingiu tal temperatura, evidências clínicas, como a cor cereja do sangue das vítimas fatais, indicam o envenenamento por cianeto. Outros contaminantes utilizados como reagentes na produção de MIC, como o fosgênio e a monometilamina, também poderiam estar presentes na nuvem tóxica (Dhara, 2002).

5.5. Investigações

O início das investigações se deu rapidamente após o acidente. Logo pela manhã do dia 3 de dezembro, o governador de Madia Pradexe ordenou o fechamento da planta de Bhopal. À tarde, o Indian Central Bureau of Investigation (CBI) assumiu o controle da planta e de toda a documentação contida nela (Peterson, 2009). O CBI garantiu a preservação das evidências na unidade de MIC, que foi analisada como uma cena de crime, e impediu a entrada de qualquer pessoa na instalação, incluindo funcionários da UCIL. O órgão proibiu ainda a empresa de entrevistar os trabalhadores que haviam testemunhado o acidente (UCC, c2020d), a fim de blindar a investigação de interferências externas.

A equipe de investigação científica da UCC, composta por engenheiros e cientistas, chegou à Índia entre os dias 5 e 6 de dezembro e logo se deparou com o bloqueio imposto pelo CBI. Impossibilitado de iniciar a investigação do caso, o líder da equipe, Ron Van Mynen, argumentou junto às autoridades indianas que a presença de seu grupo na unidade era essencial, visto que o local ainda continha uma grande quantidade de MIC armazenado sob condições desconhecidas. Segundo ele, isso representaria risco de um novo vazamento, e, dessa forma, a experiência de longa data dos membros de sua equipe na manipulação do MIC não poderia ser desprezada (Browning, 1993). Temendo um novo desastre, as autoridades finalmente cederam e, nos dias 18 e 19 de dezembro, evacuaram a população do local e permitiram que os especialistas da UCC e da UCIL convertessem o isocianato de metila remanescente. O procedimento foi realizado sob supervisão do GOI e ocorreu sem incidentes (Peterson, 2009). Nessa ocasião foi permitido à equipe técnica de Mynen coletar amostras diretamente do tanque 610 e observar detalhadamente as condições da instalação (Browning, 1993).

Com o retorno da equipe de investigação aos EUA, as amostras e informações coletadas se tornaram as únicas evidências disponíveis para realização de uma análise científica que durou mais de dois meses, já que entrevistas com funcionários não eram permitidas e que o acesso à documentação da fábrica era difícil, por ser rigorosamente regulado pela CBI. Conseqüentemente, a equipe da UCC foi obrigada a conduzir sua investigação utilizando uma metodologia não convencional, na qual a composição da amostra retirada do tanque foi analisada primeiro. Posteriormente, foi realizada uma série de 500 experimentos para determinar a reação que gerou tal composição residual (Browning, 1993).

Finalmente, em março de 1985, a UCC emitiu sua primeira declaração sobre as descobertas da sua investigação, reconhecendo que uma quantidade substancial de água havia entrado no tanque 610. A empresa defendia, contudo, que o acesso da água ao tanque teria ocorrido de forma direta, por um ato de sabotagem. A tese ia de encontro à teoria de que a lavagem de tubulações teria sido a fonte de entrada da água. (Browning, 1993).

Browning, porta-voz da UCC durante a crise, alega que a sua empresa foi prejudicada pela contenção de informação imposta pela CBI, na medida em que a Carbide só teve acesso a testemunhas e documentação por meio de uma ação judicial. Isso atrasou em quase dois anos a comprovação da teoria levantada na investigação com entrevistas e evidências escritas.

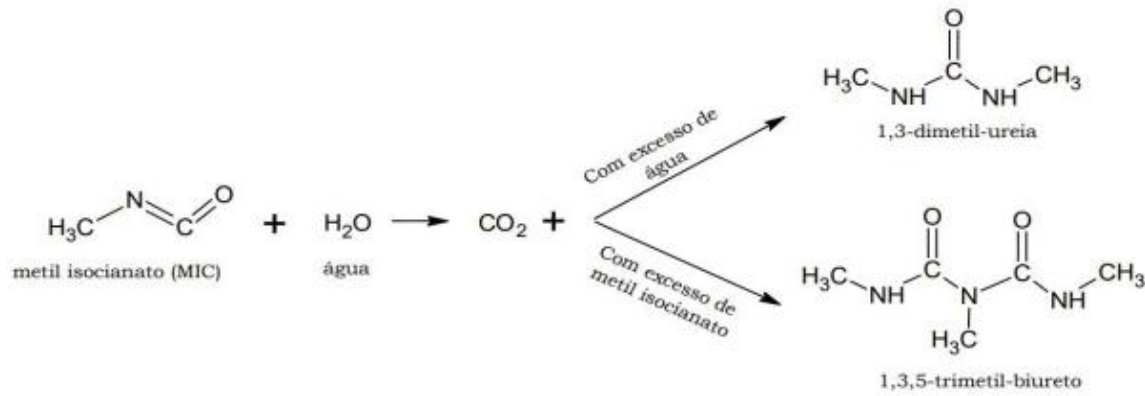
Em 1988, uma empresa de consultoria de engenharia contratada pela Carbide publicou a sua investigação independente sobre o caso de Bhopal, a qual apresentou resultados que respaldavam a análise da equipe da UCC (Browning, 1993).

Além das investigações citadas acima, diversas outras foram conduzidas tanto pela iniciativa privada como por órgãos governamentais, assim como inúmeros estudos sobre o caso foram publicados. Todas as diferentes fontes convergiram para conclusões similares, que contradizem a teoria da Carbide de que a água teria sido introduzida diretamente no tanque (Veltri, 2020).

Essas investigações e estudos se concentraram principalmente em entender o contexto macro em que se encontrava a planta de Bhopal. Levantou-se a ordem cronológica de acontecimentos determinantes de anos antes do acidente, e buscou-se entender por que a planta não estava equipada com sistemas de segurança de processos eficazes, visto que existia a possibilidade de vazamento de gás tóxico (Veltri, 2020).

Apesar das discordâncias sobre como a água entrou no tanque de armazenagem de MIC naquela noite de dezembro, todas as investigações sobre o acidente concluíram de maneira independente que uma nuvem de gás não neutralizado havia sido liberada do respiradouro do *scrubber* e que o vazamento fora desencadeado pela reação do MIC com a água dentro do tanque (Peterson, 2009), conforme mostrado pela figura 20.

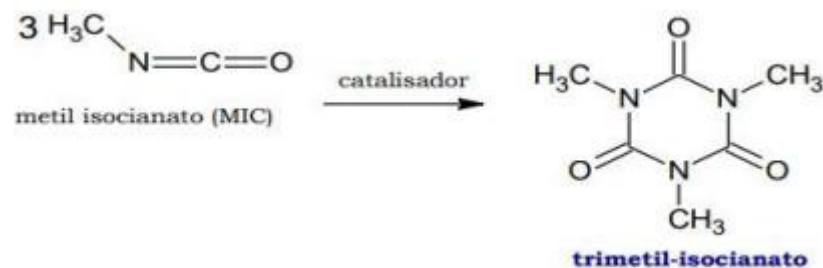
FIGURA 20 - REAÇÃO DO MIC COM H₂O



Fonte: Veltri, 2020.

A reação entre o MIC e a água é exotérmica, liberando 1.256,04 KJ por cada quilograma de MIC reagido. Dessa forma, com a liberação de calor, ocorreu um aumento de temperatura dentro do tanque, incremento esse que acelerou a reação química, formando assim um ciclo autoconsistente. Em paralelo, com o aumento da temperatura, iniciou-se uma reação secundária, a trimerização do MIC (Veltri, 2020), demonstrada na figura 21.

FIGURA 21 - REAÇÃO DE TRIMERIZAÇÃO DO MIC



Fonte: Veltri, 2020.

O calor gerado pelas duas reações iniciou um processo de vaporização do MIC líquido não reagido que o transformou em um componente gasoso instável de alta toxicidade. Este, juntamente com o gás carbônico produzido pela reação da figura 20, foi aumentando aos poucos a pressão interna do tanque, até culminar no rompimento da válvula de alívio e na liberação do gás para as tubulações (Veltri, 2020).

Outros pontos de concordância entre os estudos e as investigações são as condições em que se encontravam os sistemas de segurança naquela noite; a resposta dada pelo supervisor e trabalhadores frente ao pequeno vazamento de MIC ocorrido por volta de 23h30; a inadequação do plano de contingência dentro da planta; a comunicação inexistente com a cidade e autoridades sobre os perigos do processo; além da ineficiência em avisar e evacuar a vizinhança quando ocorreu o vazamento (Peterson, 2009).

6. ANÁLISE DE FALHAS NO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS RBPS NO ACIDENTE DE BHOPAL.

Por ser este o maior acidente químico da história, muitos estudos no passado foram realizados na busca por um único evento iniciador (Veltri, 2020). Posteriormente, com a criação dos sistemas de gerenciamento de segurança de processos, essa busca se provou ser irrelevante, tendo em vista que, com o avanço dos conhecimentos na área de segurança de processos, ficou evidente que em acidentes industriais existe sempre mais de uma falha. A mais comum delas, aliás, é a ausência de um gerenciamento da segurança adequado, que contribui, de forma associada a falhas técnicas ou não, para formar um cenário acidental.

Em 1984, ano do evento em Bhopal, o conceito de gerenciamento de segurança de processos ainda não existia na indústria. Portanto, a análise de falhas que o presente trabalho se propõe a fazer se baseia na aplicação da metodologia RBPS no contexto da fábrica de pesticidas, para que, e usando as diretrizes como padrão, sejam determinadas as falhas que contribuíram para a formação do acidente.

É importante também ressaltar que uma mesma falha pode pertencer a mais de um elemento, já que estes, como discutido anteriormente, estão interligados uns aos outros dentro de um sistema.

Abaixo serão apresentadas as falhas relacionadas a cada elemento.

6.1. Cultura de Segurança

Existem muitas evidências de que a planta de Bhopal da UCIL possuía uma cultura de segurança imatura e quase inexistente. Primeiramente, a segurança não era tratada como prioridade na unidade. Exemplos são a decisão da gestão de desligar a refrigeração dos tanques e optar pela economia de recursos em detrimento da segurança, além de operar a unidade enquanto praticamente todos os equipamentos do sistema de segurança estavam inoperantes. Outra evidência de falha da gestão em reforçar um senso de prioridade para segurança era a demora com que se tratavam as questões relacionadas à segurança. A unidade foi auditada em 1982, quando foram identificadas falhas de segurança de processos. Entretanto, passaram cerca de dois anos até que as mesmas fossem majoritariamente solucionadas. Em geral, na instalação, os medidores estavam descalibrados, e as válvulas apresentavam vazamentos. Essas irregularidades não passaram despercebidas pela operação e gerência, mas, mesmo assim, nunca foram reparadas. Nesse caso, portanto, não ocorreu apenas uma demora; as questões de segurança ficaram sem resposta definitivamente. O tanque 610 também foi deixado despressurizado sem que nenhuma solução estivesse planejada para que o problema fosse solucionado, visto que, nesse caso, os operadores não chegaram nem a relatar o fato à gerência.

Essa cadeia de eventos nos leva a um sintoma claro de uma cultura de segurança fraca: a comunicação ineficiente, evidenciada não só no episódio citado acima, mas em outros, como na falha do segundo turno em requisitar ao terceiro que o *slip blind* fosse inserido antes do procedimento de lavagem. O canal de comunicação entre gerência e operadores não era aberto e sofria com fortes influências de poder, tanto que, em um dado momento do acidente, o supervisor da planta pede ao operador que acione manualmente o *scrubber* e só aceita a recusa do mesmo quando é confrontado para acompanhá-lo, o que revela a posição de vulnerabilidade e descaso na qual o trabalhador se encontrava.

Além disso, todos os trabalhadores da planta se encontravam em um estado de consciência limitada acerca da sua própria vulnerabilidade frente aos perigos e riscos do processo. Um exemplo disso se deu quando um operador foi verificar pessoalmente a pressão do tanque, mesmo o medidor acusando o valor máximo no *display*, expondo-se assim ao risco altíssimo de explosão e/ou vazamento. Os vazamentos de gases tóxicos e altamente letais eram vistos com normalidade por todos, mesmo se tendo registro de uma morte decorrente de um dos mesmos. O supervisor tranquilamente fez a pausa para o café após ser notificado do vazamento, o que demonstrando um clima de despreocupação. Até mesmo um ato de sabotagem, como alegado pelas investigações da UCC, seria uma prova de desconhecimento da própria vulnerabilidade do trabalhador autor do crime.

A cultura de segurança fraca também se manifesta mediante uma tendência de aceitação de níveis decrescentes de desempenho. Por exemplo, era comum na planta de Bhopal que padrões de processo fossem desrespeitados, como temperatura e capacidade máxima, e condição de *stand-by* dos tanques.

Finalmente, o nível de maturidade da cultura de segurança tem um grande impacto na resposta a situações de emergência. Como descrito no capítulo anterior, a gestão de emergência foi caótica, começando pela inação dos trabalhadores frente a valores muito fora dos padrões para os parâmetros de controle (P e T) e culminando na ineficiência dos mesmos em comunicar a comunidade local, pois a sirene foi desligada após cinco minutos, e as autoridades, que souberam do acidente por fontes alternativas.

6.2. Conformidade com Padrões e Normas

No caso de Bhopal, ao avaliarmos o principal objetivo do elemento de Normas, se torna evidente que ele não foi atingido. A conformidade com regulamentos legais e padrões internos não foi garantida pelo elemento.

Do ponto de vista legal, as irregularidades começaram logo na concepção do projeto da planta, especificamente na escolha do local da fábrica, dado que a área não era destinada para indústrias de alta periculosidade. E, segundo Broughton (2005), ao longo do tempo de vida da unidade, diversos outros desvios quanto ao cumprimento de regulamentos foram cometidos. O governo da

Índia, que deveria fiscalizar e fazer cumprir a lei, estava ciente dos problemas de segurança da fábrica e, por motivos de interesse econômico, foi conivente com a negligência ao não tomar as devidas medidas legais em relação à UCIL.

Já a não conformidade com padrões internos é atestada em várias situações, como no desrespeito ao volume máximo de 50% permitido para os tanques, a condição de que um deveria estar em *stand-by*, a temperatura máxima de 15°C para o MIC e a inserção indispensável da raquete antes do procedimento de lavagem de tubulações.

Outras evidências são capazes de esclarecer como o objetivo principal desse elemento não foi alcançado. Por exemplo, a disponibilização das normas às pessoas pertinentes não foi assegurada, ao passo que operadores que realizavam o procedimento de lavagem de tubulações não estavam cientes do principal padrão de segurança relativo à atividade, que consistia no raqueteamento da tubulação. Também houve equívocos na identificação e aplicação de normas pertinentes à segurança da instalação. Ainda segundo Broughton (2005), a UCC praticava padrões de segurança mais rígidos na planta-irmã de produção de MIC na Virgínia Ocidental, fato que torna injustificável a não aplicação dos mesmo padrões em Bhopal, mesmo que a legislação indiana fosse menos rigorosa. Por fim, os relatórios de atestado de conformidade da planta de Bhopal não eram confiáveis, visto que, em junho de 1984, a sede da UCC recebeu um relatório de Bhopal atestando o recobrimento da conformidade dos padrões infringidos e auditados dois anos antes, e, meses depois, o maior acidente industrial da história acabou por descredibilizar as alegações contidas em tais relatórios de que as manutenções apropriadas teriam sido realizadas na planta.

6.3. Competência em Segurança de Processo

Em diversos momentos na história da planta de Bhopal, é possível identificar a falta de competência da sua força de trabalho. O episódio de tentativa falha de pressurização do tanque 610 é um exemplo. A operação não foi capaz de realizar o procedimento rotineiro, como também não conseguiu diagnosticar e solucionar o problema.

A degradação da competência em Bhopal foi consequência de algumas falhas na gestão desse elemento, como a má gestão de transições de pessoal realizada na fábrica na época em que a mesma sofria com cortes de recursos. Segundo Peterson (2009), devido aos cortes, trabalhadores experientes foram substituídos por trabalhadores menos experientes de outras unidades da planta de Bhopal e de outras plantas da UCIL, e, ao que tudo indica, estes não possuíam a competência necessária para os cargos que ocupavam. O supervisor da planta de MIC de plantão na madrugada do acidente, por exemplo, ordenou que o operador retomasse o procedimento de limpeza de tubulações quando o funcionário informou que tinha interrompido o fornecimento de água por conta da saída de purga estar entupida. Ou seja, claramente o supervisor demonstrou menor competência na tomada de decisão pautada em segurança do que seu subordinado. Outro exemplo que reafirma

isso é a atitude do supervisor em pausar para o café após receber a notícia do vazamento ocorrido antes da meia-noite e meia, enquanto os operadores que o identificaram atuaram imediatamente na remediação do mesmo com água.

Quando o posto de supervisão da manutenção do turno da noite foi eliminado, as atividades ligadas à função não foram delegadas corretamente para outros funcionários que estariam em cargos com mesmo nível de responsabilidade. Isso contribuiu para a não instalação do *slip blind* pela manutenção ao abrir brechas na fiscalização das atividades desse setor.

Mesmo assim, uma conduta voltada para a disponibilização acessível do conhecimento, como garantir que essa informação estivesse presente de forma clara no procedimento operacional de lavagem de tubulações, poderia ter assegurado que a raquete fosse inserida. Entretanto, não foi garantido aos trabalhadores o acesso aos conceitos básicos do processo, como a própria química e engenharia do processo. Com isso, a resposta à emergência foi permeada por muitas dúvidas por parte dos funcionários, e conseqüentemente, muitos atrasos foram observados, como a demora para reagir ao aumento da pressão e temperatura do tanque. Uma evidência do total desconhecimento dos trabalhadores acerca do que estava ocorrendo na planta no momento do acidente foi a decisão de desligar as sirenes de aviso às comunidades e a não comunicação das autoridades locais sobre o evento.

Por fim, tendo em vista que a UCC possuía uma planta similar na Virgínia Ocidental, a empresa poderia ter promovido de forma mais eficiente a troca de informações e conhecimentos entre as duas unidades. Isso teria impedido que a planta de Bhopal tivesse o potencial de produzir um cenário catastrófico de tamanha magnitude, ao copiar a planta-irmã na capacidade reduzida de estocagem de MIC e no dimensionamento adequado dos dispositivos de segurança.

6.4. Envolvimento da Força de Trabalho

O envolvimento da força de trabalho em questões de segurança se dá em grande parte por meio da delegação de responsabilidades dentro do sistema RBPS (CCPS, 2007). Não existem quaisquer indícios de que essa distribuição de atribuições de segurança de processos foi realizada em qualquer momento durante o tempo em que a planta de Bhopal operou. Inclusive, mesmo aqueles funcionários que possuíam responsabilidades relacionadas ao tema (como o operador da sala de controle, que era encarregado de monitorar parâmetros de segurança como pressão e temperatura) não atuaram proativamente em grande parte do tempo em que o acidente estava escalando. E, quando atuaram de forma proativa, muitas vezes sua autonomia foi inibida, como no caso do operador que interrompeu a lavagem ao notar que a purga estava entupida e que, ao relatar o caso ao seu superior, recebeu ordens para retomar o processo.

O elemento também é implementado por meio da consulta da força de trabalho nas mais diversas questões do sistema RBPS. Nesse caso, considera-se principalmente a operação, por esta possuir a

perícia que se adquire no cotidiano de uma operação industrial e também por ser o grupo mais afetado em casos de acidentes (CCPS, 2007). Para que ocorra essa troca entre gestão e operação, é necessário que exista uma comunicação aberta e se estabeleça uma confiança mútua. Como já argumentado anteriormente no tópico de cultura de segurança, o operador não dispunha de um canal aberto e livre de represálias para se comunicar com seus superiores. Isso impossibilitando que tivesse voz ativa nas questões de segurança.

6.5. Abrangência às partes interessadas

O elemento abrangência às partes interessadas tem como objetivo principal estabelecer um bom relacionamento com todos aqueles que possam ser afetados pelas operações da empresa, como a comunidade vizinha, organizações locais e autoridades governamentais que atuam no pronto atendimento à população. Para que aspectos ligados à natureza do processo e dos produtos, incluindo principalmente os riscos pertinentes às partes, possam ser informados e treinamentos de planos de emergência possam ser conduzidos com receptividade (CCPS, 2007).

No caso de Bhopal, fica evidente que as comunidades vizinhas não receberam qualquer informação ou instrução de emergência vindas da UCIL. A interação entre a população e a empresa se limitou a uma crescente e preocupante ocupação ilegal do entorno fabril por pessoas que eram atraídas pela oportunidade de emprego e acesso a água. Consequência tanto da negligência da empresa, ao não considerar questões sociais e densidade demográfica na escolha do local para construir a unidade, como do governo Indiano, que permitiu que uma indústria química de alta periculosidade se instalasse na área, e que tornou legal as posses irregulares e ignorou os pedidos da UCC para que se estabelecesse uma área de *green belt*, para isolar a fábrica dos avanços das ocupações.

Uma boa comunicação com as partes interessadas auxilia na melhoria contínua do planejamento de emergência, o tornando cada vez mais eficiente em mitigar as consequências de qualquer evento de segurança de processos que possa vir a ocorrer (CCPS, 2007). A cronologia dos fatos ocorridos após o vazamento de MIC em Bhopal e o número de mortes evidenciam a inexistência de qualquer canal de comunicação com a comunidade, inclusive no momento do acidente. O desligamento do alarme de emergência externo após cinco minutos de ter sido acionado é um exemplo de como a população estava perigosamente desinformada quanto à situação. E, apesar de existirem medidas simples que mitigariam em grande escala o número de mortos e feridos, como procurar abrigo na própria casa, fechando todas as possíveis entradas e vedando os vãos com toalhas molhadas (Veltri, 2020), essas informações nunca chegaram ao conhecimento das pessoas.

A situação não foi diferente com relação a outra parte interessada, as autoridades locais. A polícia não foi notificada, o que teria facilitado a disseminação de medidas de mitigação, o sistema de saúde local não recebeu qualquer instrução quanto ao tratamento apropriado e natureza do gás

vazado, diminuindo as chances de salvamento para as vítimas que ainda chegavam com vida no hospital.

6.6. Gestão do Conhecimento de Processo

O elemento conhecimento é responsável por desenvolver, documentar, compilar, catalogar e disponibilizar toda informação pertinente a tecnologia, operação e segurança do processo. É um elemento que possui um elevado grau de estrutura. Ele prevê que todas as informações sejam mantidas atualizadas, precisas e acessíveis aos funcionários que precisam delas para realizar suas tarefas relacionadas com segurança de processos (CCPS, 2007).

A UCC comprovadamente possuía avançado conhecimento acerca da toxicologia das substâncias químicas perigosas que utilizava em suas operações, visto que, na década de 70, a Carbide, juntamente com outras empresas do segmento, fundou o Instituto de Toxicologia da Indústria Química (Browning, 1993). A empresa também detinha um grande conhecimento a respeito da tecnologia de operação em Bhopal, já que a própria a desenvolveu anos antes e possuía extensa experiência com ela graças às operações de uma planta semelhante na Virgínia Ocidental. Dessa forma, é evidente a negligência da UCC na medida em que erros graves foram cometidos logo na fase de projeto, tais quais o superdimensionamento dos tanques de armazenagem de MIC (escolha que se opõe ao conhecimento acerca da toxicidade da substância) e o subdimensionamento dos equipamentos de segurança de processos, que, segundo Veltri (2020), não tinham capacidade de mitigar os danos em casos de potenciais acidentes maiores. A UCC (c2020c) se defende alegando que a UCIL foi a única responsável pelo projeto, construção e operação da fábrica. Mas, sendo a UCC acionista majoritária, tal alegação é prova da sua ausência de compromisso com o gerenciamento de segurança de processo na sua unidade na Índia.

O conhecimento cresce e evolui ao longo do ciclo de vida dos processos. Na etapa de operação, a responsabilidade em desenvolver e atualizar os conhecimentos é transferida para a própria unidade de operação (CCPS, 2007). Em Bhopal, o conhecimento não foi aprimorado por meio das experiências com as operações, visto que, anos antes do vazamento de dezembro de 1984, outros vazamentos menores ocorreram, mas nenhuma lição aprendida foi incorporada ao sistema de conhecimento da unidade.

6.7. Identificação de Perigos e Análises de Risco

É impossível diagnosticar, apenas analisando um recorte da sua história, que a instalação de Bhopal não realizava estudos de risco. Provavelmente, um processo de degradação da qualidade e frequência das análises de risco ocorreu com o passar do tempo e com a perda de recursos que a unidade vinha progressivamente sofrendo. Entretanto, algumas evidências apontam que a empresa

não realizou os estudos de identificação de perigos e análises de risco em diversas situações em que a execução dos mesmos se torna crucial para a garantia de padrões mínimos de segurança de processos de uma unidade fabril. Destacamos, por exemplo, a etapa de projeto da instalação, em que não foi realizado um estudo prévio de identificação de cenários acidentais, pois, caso contrário, os tanques de armazenamento de MIC nunca teriam sido superdimensionados, tendo em vista que a capacidade dos mesmos era um fator diretamente proporcional à severidade de um cenário de vazamento. Dessa forma, um estudo apropriado de análise de risco teria identificado o risco em fases iniciais e tornado possível a eliminação do mesmo por meio da modificação do projeto.

Outra evidência de falha do elemento logo na etapa de projeto foi o subdimensionamento dos equipamentos do sistema de segurança dos tanques. O erro está intimamente ligado ao citado acima, pois a falta ou a ineficiência de um estudo de identificação de perigos e análise de risco para os tanques levou a uma percepção distorcida e à não quantificação do real risco associado, de modo a tornar improvável o correto dimensionamento das medidas de controle dos mesmos.

A empresa tampouco se preocupou em respaldar as modificações operacionais que eram realizadas com estudos de risco. Assim, em diversos casos, as mudanças que ocorreram na unidade adicionaram riscos à operação de maneira inadvertida. O desligamento dos principais equipamentos do sistema de segurança, o refrigerador, *scrubber* e o *flare*, ao mesmo tempo é um exemplo de como o risco associado a essas ações não foi avaliado. O mesmo ocorreu quando o corpo de funcionários começou a sofrer cortes, e muitas funções que desempenhavam um papel essencial na manutenção da segurança da unidade, como o cargo de supervisor da manutenção do turno da noite, se perderam. Além disso, um planejamento de sucessão não foi conduzido, o que impediu que as responsabilidades da função fossem distribuídas e atribuídas. Até mesmo quando a mudança era de caráter estrutural, como no evento da instalação do *jumper line*, os estudos de identificação de perigos e análise de risco não eram realizados.

Não só o desempenho do elemento de gestão de mudanças foi prejudicado com a ineficiência do elemento de Identificação de Perigos e Análises de Risco, mas a gestão do sistema de segurança de processos como um todo tornou-se tornou deficiente. Como por exemplo, a aplicação dos elementos de treinamento e gestão de emergências foi prejudicada, ao passo que as análises de risco são utilizadas como insumos de conhecimento para que se desenvolvam treinamentos eficientes tanto para os funcionários quanto para a população com potencial de ser afetada pelos possíveis cenários acidentais.

6.8. Procedimentos Operacionais

Empresas com uma cultura de segurança fraca, como era o caso da UCIL de Bhopal, devem adotar um sistema de segurança de processos mais prescritivo. Compreendendo essa necessidade e aplicando-a ao elemento de procedimentos operacionais, o resultado se expressa em procedimentos

que detalham o processo, perigos envolvidos, metodologia da atividade, ferramentas necessárias, equipamentos de proteção a serem utilizados e os controles de processo críticos a serem monitorados. Os procedimentos operacionais devem também descrever todos esses aspectos para as atividades rotineiras e de emergência, como por exemplo o correto desligamento de um equipamento em uma situação descontrolada (CCPS, 2007).

O objetivo central desse elemento é garantir, atuando conjuntamente com o elemento de treinamento, a reprodução padronizada e correta de uma atividade e também proporcionar o entendimento dos riscos inerentes a ela. O operador deve ser capacitado para identificar e ponderar a gravidade de desvios no processo e atuar de forma eficiente na correção destes (CCPS, 2007).

O monitoramento do elemento é essencial para garantir o cumprimento desses objetivos. Os procedimentos operacionais devem sempre ser auditados para se verificar se estão sendo seguidos dentro do esperado e, se for o caso, corrigir possíveis falhas (CCPS, 2007). Como era comum no dia a dia da operação de Bhopal que parâmetros do processo estivessem fora do especificado pelos padrões de segurança (como a temperatura e capacidade dos tanques acima do máximo permitido), pode-se deduzir que a unidade não auditava a execução dos procedimentos operacionais.

Dessa forma, o desenvolvimento da capacidade dos operadores em identificar desvios no processo se tornou improvável em Bhopal. Isso pôde ser constatado na inação do operador da sala de controle ao notar temperatura e pressão cada vez mais altas para o tanque e na pausa para o café da equipe, mesmo após a identificação de um pequeno vazamento.

Quando finalmente o problema se tornou obviamente evidente, com a quebra da armadura de concreto que abrigava o tanque 610, a operação não apresentou comportamentos compatíveis com a severidade da situação, já que o alarme de emergência foi desligado após cinco minutos. Isso indica a falta de consciência da equipe quanto à magnitude do problema.

6.9. Práticas de Trabalho Seguro

Não há indícios de que falhas nesse elemento influenciaram na formação do cenário acidental de Bhopal.

6.10. Integridade de Ativos e Confiabilidade

O escopo desse elemento prevê que os equipamentos, medidores de controle e sistemas de segurança tenham sido corretamente projetados para atender com segurança as operações da planta, instalados adequadamente e mantidos com suas funcionalidades dentro do padrão. Coordenar inspeções, testes e manutenções preventivas também faz parte das atividades do elemento (Veltri, 2020).

Como foi apresentado no caso de Bhopal, falhas nesse elemento contribuíram significativamente para que as consequências do acidente escalassem de maneira descontrolada.

Durante a fase de operação da planta, os equipamentos não foram devidamente mantidos com suas funcionalidades dentro dos padrões, visto que o *scrubber* e o *flare* foram desativados por motivo de falta de manutenção. Um fator que teve grande contribuição para que o elemento falhasse nesse aspecto foi a falta de competência da equipe de manutenção, evidenciada claramente na tentativa sem sucesso de pressurização do tanque 610 com nitrogênio. A falha em executar o procedimento possibilitou que a água entrasse no tanque 610.

Inspeções e testes não eram conduzidos na frequência apropriada e/ou seus diagnósticos não eram tratados pela equipe de manutenção. Assim, a prática se tornou inútil e levou a descalibração e falta de confiabilidade nos medidores de controle e válvulas.

6.11. Gestão de Contratadas

Não há indícios de que atividades terceirizadas influenciaram na formação do cenário acidental de Bhopal.

6.12. Treinamento e Garantia de Desempenho

Como já explicitado anteriormente nesta análise, o desempenho inadequado do elemento de Treinamento em Bhopal repercutiu em falhas em todos os outros elementos, principalmente na Competência, Abrangência às Partes Interessadas e Gerenciamento de Emergência.

Revisando o histórico da unidade, é possível notar que a deterioração do desempenho do elemento se tornou indiscutivelmente evidente nos quatro últimos anos de operação da unidade, quando vazamentos se tornaram recorrentes e chegaram a envolver a morte de um funcionário e a evacuação da população local. Esses eventos poderiam ter sido traduzidos em indicadores reativos, que por sua vez iriam destacar as principais falhas de Treinamento.

6.13. Gerenciamento de Mudanças (MOC)

A partir da descrição do cenário acidental, é possível identificar diversas situações de mudanças que ocorreram na planta de Bhopal e que faziam parte do escopo do elemento MOC. Entretanto, o elemento sequer foi aplicado em tais ocasiões, tendo falhado em todos os quatro passos do gerenciamento das mesmas, seja pelo não reconhecimento de uma situação de mudança, seja por negligência em optar por não executar os estudos de identificação de perigos e análise de risco, a

deliberação acerca da autorização e a implantação das medidas de controle e acompanhamento referentes a tal mudança.

Exemplos de mudanças de difícil identificação são geralmente aquelas do âmbito organizacional, como foi o corte do posto de supervisão de manutenção do turno da noite, que deveria ter gerado ações de MOC no treinamento dos funcionários. Outra mudança pouco óbvia e que ocorria externamente à instalação foi o crescimento da população residente do entorno fabril. Se tal alteração de circunstância fosse processada pelo elemento, a atualização dos elementos Abrangência às Partes Interessadas e Gestão de Emergência teria sido requerida para atender ao novo contingente.

Entretanto, mudanças óbvias, ligadas a modificações estruturais do processo, também ocorreram em Bhopal. A inação em relação a elas indica um alto grau de negligência da gestão ao não aplicar o MOC. O caso é semelhante ao da decisão de se desligar o sistema de refrigeração dos tanques, que, se tivesse sido avaliada segundo o processo padrão de gerenciamento de mudanças, nunca teria sido aprovada pela gestão, tendo em vista que estudos de identificação de perigos e análise de risco teriam indicado a adição de riscos inaceitáveis à operação com tal modificação. Outro exemplo de mudança evidente foi a instalação do *jumper line*, que não gerou as necessárias medidas de atualização nos elementos de Procedimentos Operacionais e Treinamento. De maneira análoga, nenhum controle adicional de risco foi introduzido após a alteração na linha de tubulações.

6.14. Prontidão Operacional

Como citado no capítulo 3, o elemento Prontidão Operacional tem como objetivo assegurar a partida segura de qualquer equipamento ou unidade operacional. Para que esse objetivo seja atingido, suas principais atividades devem envolver a supervisão do processo de desligamento de equipamentos ou unidades, para que este seja realizado de forma que os mesmos estejam em condições seguras para uma reinicialização, e a capacitação dos funcionários (realizada juntamente com o elemento de Treinamento), para que sejam capazes de executar procedimentos de iniciação de forma eficaz e segura (CCPS, 2007).

No caso analisado de Bhopal, três equipamentos do sistema de segurança da unidade de armazenagem de MIC sofreram desligamento meses antes do acidente. Dois deles não foram deixados em condições de prontidão para um possível acionamento dos mesmos. Eram estes o sistema de refrigeração dos tanques, que tivera seu fluido refrigerante completamente drenado, e o *scrubber*, que não estava abastecido com níveis mínimos operacionais de soda cáustica.

6.15. Condução das Operações

Claramente, em Bhopal, as expectativas de desempenho não eram eficazmente comunicadas e a execução das atividades não era monitorada, tendo em vista a má performance sistemática na condução de várias operações na unidade. Exemplos são a falha na inserção do *slip blind* no procedimento de lavagem e os desvios em parâmetros de operação, como temperatura e pressão, frequentemente aceitos pela força de trabalho.

A gestão de Bhopal era negligente a medida que incentivava condutas que resistiam a paradas operacionais, como foi o exemplo do operador que interrompeu o fornecimento de água na lavagem dos dutos quando notou o entupimento das saídas de purga e foi repreendido pelo seu supervisor. Essa negligência comprometeu diretamente o desempenho do elemento de Condução das Operações, pois a gestão entrava em contradição com padrões operacionais e atitudes seguras.

6.16. Gerenciamento de Emergências

Como, em Bhopal, o elemento de identificação de perigos e análises de risco apresentou não conformidade em sua aplicação, seria improvável que o gerenciamento de emergências fosse eficaz, já que esse depende diretamente do primeiro para que sejam planejadas as respostas de acordo com os cenários plausíveis de ocorrer (mesmo que remotamente). Dessa forma, como foi evidenciado, os funcionários se encontravam completamente despreparados para a situação ocorrida na madrugada de dezembro de 1984.

Outro elemento mal executado em Bhopal que influenciou diretamente no elemento de emergências foi o de comunicação com os *stakeholders*. Ao passo que essa comunicação era praticamente inexistente, a população, autoridades governamentais e de socorro, como os médicos, não possuíam conhecimento suficiente para agir de modo a mitigar os danos do vazamento.

6.17. Investigação de Acidentes e Incidentes

Durante o tempo de operação da planta de pesticida em Bhopal, não faltaram ocorrências de eventos de segurança nos quais este elemento deveria ter sido empregado, e, caso tivesse sido aplicado eficazmente, teria prevenido a ocorrência de acidentes. Entretanto, existem muitas evidências de que esse elemento era negligenciado.

Em um período menor que um ano, entre 1981 e 1982, três vazamentos de fosgênio, envolvendo uma fatalidade em um deles, ocorreram. A sucessão de vazamentos indica que ou investigações não eram realizadas, ou as recomendações provenientes delas não eram aplicadas, já que esse é um exemplo de reincidência de eventos que pertencem a um mesmo grupo de acidente e que

compartilham causas semelhantes, as quais poderiam ter sido tratadas mediante medidas corretivas.

Sempre que ocorre um evento de segurança, ele deve ser inserido no banco de dados. Se a gestão de segurança de Bhopal realizasse uma análise periódica de tendência desse banco de dados, teria identificado prematuramente a tendência de reincidência de um acidente de vazamento que de fato se verificou.

6.18. Indicadores e Monitoramento

Na planta de Bhopal, ficou evidente a deterioração de equipamentos e competências ao longo dos anos. Fica claro, além disso, que a gestão da unidade não utilizava indicadores de desempenho, tanto proativos quanto reativos. Vale ressaltar ainda que o último eram um recurso disponível para a gestão, tendo em vista os eventos de segurança que ocorreram anos antes do acidente de dezembro de 1984.

6.19. Auditorias

De acordo com relatos da literatura, em 1982 foi realizada uma auditoria que identificou dez deficiências de segurança de processos na unidade de Bhopal. Entretanto, apesar das evidências de que era colocado em prática esse elemento, existiam muitas falhas na execução do mesmo. Uma destas era o tempo de resposta às demandas das auditorias, que não eram tratadas como prioridade e demoravam até dois anos para serem atendidas em alguns casos. A recusa ao acatamento das recomendações da auditoria também era feita de forma informal e sem embasamento em argumentos de segurança, como ocorreu no caso do relatório enviado para a sede da UCC que declarava a solução de algumas das deficiências, enquanto outras haviam sido deixadas sem resposta. A conformidade com as exigências normativas também não era assegurada pelas auditorias, com um agravante de negligência por parte do governo indiano.

6.20. Avaliação da Gestão e Melhoria Contínua

Não existem evidências que comprovem que eram realizadas avaliações de gestão na planta de Bhopal, apesar de não faltarem demandas de ajustes e melhorias em todos os elementos analisados acima.

7. EXPLOSÃO NA REFINARIA DA BP, TEXAS, 2005

7.1. Histórico

Em 1901, o empresário britânico William Knox D'Arcy adquiriu os direitos de explorar, por um período de 60 anos, petróleo e gás na região da Pérsia, atual Irã, então sob ocupação do Reino Unido. Após sete anos de procura e perfurações, finalmente a equipe de D'Arcy encontrou o primeiro poço de petróleo, e, dentro de um ano, a Anglo-Persian Oil Company iniciou suas atividades (BP, c2021a).

Em 1911, a empresa construiu, através de uma rota montanhosa, um gasoduto de 230 km para escoar a nafta de petróleo até o Golfo Pérsico, onde estava sendo construída a maior refinaria do mundo à época. Entretanto, a Anglo-Persian sofria com falta de demanda nos seus primeiros anos de operação, uma vez que carros ainda não representavam um mercado de massa, as empresas americanas e europeias já tinham seu fornecedor de óleo industrial, e o cheiro forte sulfuroso do óleo persa impossibilitava o seu emprego como matéria-prima na produção de querosene para aquecimento doméstico, um dos principais usos do petróleo na época. Esse cenário levou a empresa a voltar sua estratégia para o estabelecimento de um acordo com o governo britânico, mediante o qual se tornou a fornecedora oficial de petróleo para a Marinha britânica pelos 20 anos seguintes. O governo britânico tornou-se acionista majoritário da empresa também nesse contrato (BP, c2021b).

Durante a Primeira Guerra Mundial, o governo Britânico confiscou os ativos da empresa British Petroleum, que, apesar do nome, era de origem alemã, sendo a marca fruto de uma estratégia de marketing para conquistar o mercado inglês. Mais tarde, essas ações foram vendidas para a Anglo-Persian Company, que adquiriu com a compra uma rede instantânea de distribuição pelo Reino Unido (BP, c2021b).

Aliado a isso, nas décadas subsequentes, os carros se tornaram um meio de transporte popular, e a Anglo-Persian expandiu rapidamente seus negócios pela Europa (BP, c2021b). Em 1921, havia 69 bombas de gasolina com o rótulo da BP na Grã-Bretanha, e, apenas, quatro anos depois, mais de seis mil (BP, c2021c).

As reservas de petróleo do Oriente Médio conferiram à região, antes empobrecida, grande influência econômica e política. Por volta da década de 50, nacionalistas em todo o Oriente Médio começaram a questionar o direito concedido a empresas ocidentais de exploração e comercialização do petróleo da região. Em 1951, o primeiro-ministro do Irã, que anteriormente já se havia pronunciado contra a presença da Anglo-Persian no país, convenceu o Parlamento iraniano a nacionalizar a indústria do petróleo. Meses depois, a empresa retirou todos os seus funcionários do território iraniano. A saída da Anglo-Persian do Irã gerou grande repercussão internacional: grandes economias boicotaram o petróleo iraniano, obrigando o país a recuar na decisão e propor uma parceria, válida por 25 anos, segundo a qual o governo receberia 50% dos lucros de todas as operações petrolíferas do

recém-criado consórcio Iranian Oil Participants, do qual a Anglo-Persian co-participava com 40% (BP, c2021d).

Em dezembro de 1954, a empresa finalmente muda seu nome para British Petroleum, como é atualmente conhecida (BP, c2021d).

Três anos depois, a BP adquiriu concessões na Líbia, onde, no início da década de 60, a empresa descobriu uma reserva de 6,5 bilhões de barris de petróleo localizado em Sarir (BP, c2021d). Entretanto, o país sofreu um golpe militar em 1969 que levou Muammar al-Ghaddafi ao poder. Este, poucos anos mais tarde, anunciou que a Líbia aumentaria os tributos sobre o petróleo exportado. Logo após esse anúncio, tensões políticas envolvendo a Líbia, o Irã e a Inglaterra culminaram na nacionalização da participação da BP em uma operação petrolífera na Líbia (BP, c2021e).

A determinação de nacionalização de recursos petrolíferos de Ghaddafi abriu precedentes para que outras nações da região, como Irã, Iraque, Arábia Saudita, Emirado de Abu Dhabi e Catar, anunciassem que fariam o mesmo em um prazo de até dez anos. O impacto gerado pela onda de nacionalização no Oriente Médio foi devastador para a BP, tendo em vista que, na década de 70, o petróleo proveniente da região representava 80% do fornecimento da empresa e cerca de dez anos mais tarde, essa parcela caiu para 10% (BP, c2021e).

O novo cenário político obrigou a BP a mudar sua estratégia de negócios: retirou-se o foco do Oriente Médio e passou-se a investir em descobrir e explorar petróleo em outras partes do mundo. Em especial, a descoberta de uma grande reserva de petróleo em Prudhoe Bay, no Alasca, realizada em 1969, foi de grande importância para a BP nesse momento de transição, visto que se tratava da maior reserva de petróleo já encontrada na América do Norte. Entretanto, transportar o óleo cru da reserva de Prudhoe Bay, localizada no oceano a 160 Km da costa, até a refinaria mais próxima era um enorme desafio de engenharia, tendo em vista as condições climáticas extremas do lugar. O projeto do que seria o maior gasoduto já construído em águas profundas na época foi alvo de críticas ambientais, motivadas pela incerteza acerca das implicações de se extrair petróleo de uma região tão ecologicamente delicada (BP, c2021e). Décadas mais tarde, em 2006, ocorreram dois vazamentos no oleoduto TransAlaska em um intervalo de meses, o que levou ao fechamento parcial das operações em Prudhoe Bay. Como resultado do evento, a BP se comprometeu a investir cerca de US\$550 milhões em gerenciamento de integridade da TransAlaska (BP, c2021f).

A exploração de petróleo no Alasca foi a porta de entrada da BP para o mercado norte-americano. Anos mais tarde, em 1987, após a BP adquirir a Standard Oil of Ohio (Sohio) e suas refinarias, a empreitada resultou em um novo negócio da empresa, a BP America (BP, c2021e).

No mesmo ano, a BP se tornou uma empresa inteiramente privatizada, após o governo britânico vender suas últimas ações da companhia. Nos anos seguintes, se sucederam diversas aquisições e fusões, dentre elas com a Amoco e com a ARCO, empresas de origem americana. Com isso, expandiam-se as operações da BP nos EUA (BP, c2021e).

O novo milênio foi marcado por acidentes e eventos de segurança de grande impacto em diferentes instalações da BP ao redor do mundo. Nos anos 2000, entre maio e junho, três eventos de segurança com potencial de causar lesões fatais e impactos ambientais ocorreram na refinaria Grangemouth, na Escócia, sendo um deles um grande incêndio na Unidade de Crackeamento Catalítico Fluidizado (HSE, 2003). Essas ocorrências foram investigadas pela HSE, que evidenciou em sua análise problemas de segurança que mais tarde apareceram também na explosão da refinaria BP de Texas City em 2005 (BP Texas City Explosion, 2008). O caso será mais detalhado ao longo deste capítulo. Vale ressaltar que, um ano antes do acidente no Texas, auditores da sede da BP concluíram que 35 unidades da empresa ao redor do mundo, incluindo a do Texas, tinham vários problemas de segurança. Inúmeros relatórios que indicavam a gravidade dos problemas no setor de gestão de segurança da empresa chegaram à diretoria, porém nenhuma medida foi tomada para consertar tais problemas (CSB, 2007).

Um ano depois de Texas City, ocorreram os vazamentos em Prudhoe Bay, conforme descrito anteriormente. E, em 2010, a plataforma Deepwater Horizon, operada pela BP e localizada no Golfo do México, sofreu uma explosão que resultou na morte de 11 pessoas, no naufrágio da plataforma e na liberação descontrolada de toneladas de óleo cru de petróleo e GNV no oceano (BP, c2021f)

Refinaria BP Amoco Texas City

A refinaria em Texas City foi construída em 1934 pela Pan-American Refinery, subsidiária da Standard Oil of Indiana, e os empregos gerados pela instalação foram responsáveis por impulsionar o aumento populacional em Texas City. Anos mais tarde, a Pan-American Refinery se tornou a American Oil Company (Amoco) (Kraft, c2021).

A Amoco operou a refinaria de Texas City por muitos anos, desconsiderando importantes demandas de melhorias de segurança na instalação, como no caso do tambor de descarga de gases da unidade de Isomerização, que estava ultrapassado e não foi substituído em prol de economia de recursos (Kraft, c2021). Em 1992, após a ocorrência de um vazamento em outra unidade de processamento da refinaria que utilizava um sistema similar de descarga de gases, a OSHA, após uma inspeção, determinou que o sistema de purga da instalação não era seguro, pois liberava gases perigosos diretamente na atmosfera, e recomendou sua troca e atualização. Entretanto, a Amoco não acatou a recomendação sob alegação de que o sistema estava em conformidade com os padrões exigidos pela American Petroleum Institute Standards (BP Texas City Explosion, 2008).

Em 1999, a refinaria tornou-se propriedade da BP como resultado da fusão da companhia com a Amoco. À época, a planta era a maior e mais complexa refinaria da BP, com capacidade de processamento de 460 mil barris e produção máxima de 11 milhões de galões de gasolina por dia. A instalação de aproximadamente 486 hectares, onde 18 mil funcionários da BP trabalhavam, era equipada com 30 unidades de processamento que não só produziam gasolina, como também diesel e outros derivados químicos do petróleo (Broadribb, 2006).

Após a fusão com a AMOCO, a BP ordenou um corte de 25% em custos fixos que afetou áreas como contratação de pessoal, treinamento e integridade mecânica dos equipamentos. A nova proprietária também diminuiu o contingente e descentralizou o antigo sistema de gerenciamento de segurança que a Amoco praticava na instalação, retirando a exigência de o mesmo ser supervisionado pela liderança sênior da refinaria (CSB, 2007).

As mudanças realizadas pela BP tornaram ainda mais crítica a situação da segurança na refinaria, que já possuía um histórico de alta incidência de acidentes e fatalidades. Entre 1975 e 2005, a instalação registrou 23 fatalidades (BP Texas City Explosion, 2008).

Entretanto, a alta reincidência de eventos de segurança na refinaria não pode ser interpretada como desconhecimento da gestão acerca da real situação de segurança da instalação. Em 2002, o então novo gerente da planta constatou que a infraestrutura e os equipamentos estavam decadentes e requisitou uma análise. O estudo, que foi compartilhado com os executivos da BP em Londres, concluiu que a integridade mecânica era um dos maiores problemas da instalação, apontando também a urgência de serem colocadas em prática suas recomendações e alertando sobre a vulnerabilidade da planta. Havia sérias preocupações com o potencial de um acidente grave devido ao grande número de vazamentos de gás nos dois anos anteriores (CSB, 2007).

Em 2003, outra avaliação constatou que os cortes orçamentários estavam interferindo na execução correta de trabalhos em diferentes grupos dentro da empresa, visto que as melhorias em confiabilidade geralmente eram cortadas. No mesmo ano, uma auditoria afirmou novamente que a infraestrutura em Texas City era pobre e que os gastos com manutenção não eram suficientes (CSB, 2007).

Em 2004, já era possível perceber que a refinaria estava caminhando para um desastre. Naquele ano, houve três grandes acidentes que resultaram em três mortes. No final do ano, o gerente da planta fez uma apresentação para seus superiores intitulada “A realidade da segurança”. Um dos slides afirmava que Texas City não era um local de trabalho seguro (CSB, 2007).

Pouco antes do acidente de 2005, uma pesquisa realizada pela própria BP indicou que havia um enorme medo entre os funcionários da planta de que uma catástrofe acontecesse. A pesquisa também mostrou que havia uma preocupação com a falta de manutenção dos equipamentos. Por exemplo, foi relatado defeito no alarme de nível da torre de fracionamento diversas vezes nos anos anteriores, porém as ordens de serviço de manutenção eram fechadas sem que o conserto fosse realizado (CSB, 2007).

Após a explosão na unidade de isomerização em março de 2005, a investigação conduzida pela Chemical Safety Board (CSB) revelou outros fatores que contribuíram para a deterioração do sistema de gerenciamento de segurança da unidade. Um deles, que chamou bastante a atenção dos investigadores, foi a alta taxa de mudança de liderança das unidades de processamento da refinaria: foram seis diferentes líderes em sete anos (BP Texas City Explosion, 2008).

Outro ponto que também merece destaque diz respeito à atuação das agências reguladoras em inspecionar e prevenir acidentes na refinaria. A OSHA conduziu pequenas inspeções sem aviso prévio na unidade, em resposta aos frequentes acidentes que ocorriam no local, porém essas auditorias não diagnosticaram as falhas no sistema de gerenciamento de segurança de processos da instalação. Já a EPA nunca chegou a auditar a refinaria para verificar a conformidade com os requisitos de gestão de risco antes do acidente de março de 2005 (BP Texas City Explosion, 2008).

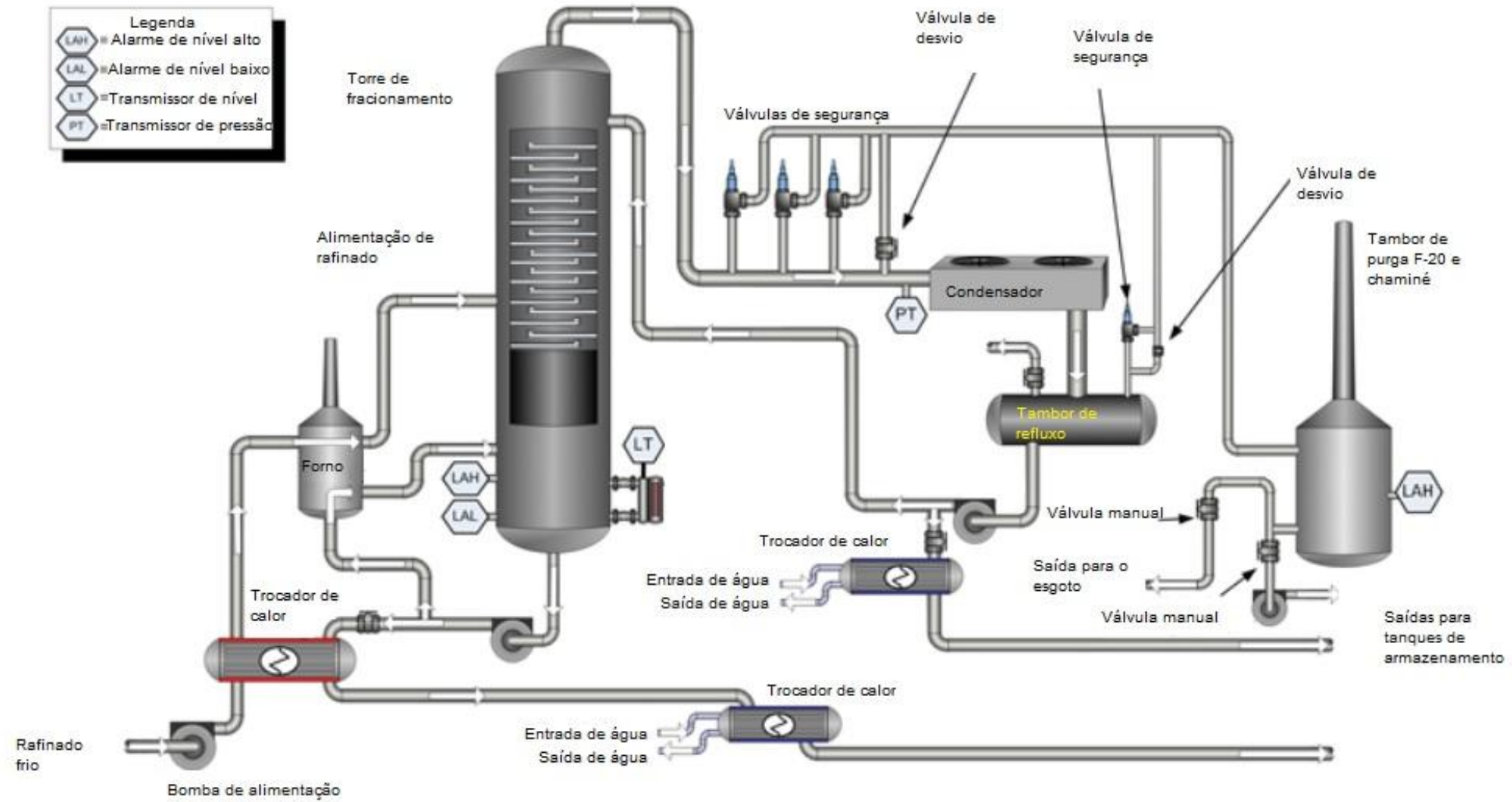
7.2. O Processo

O acidente de 23 de março de 2005, envolvendo explosões e incêndio que perdurou por horas, ocorreu na unidade de isomerização (ISOM) da refinaria da BP, que tinha como objetivo produzir componentes para aumentar a taxa de octanagem da gasolina, um dos produtos finais da refinaria (BP Texas City Explosion, 2008). A unidade ISOM foi adicionada à planta na década de 80 e era composta por quatro seções: a unidade de dessulfurização *ultrafiner*, a unidade do reator *Penex*, o sistema de recuperação de vapores e reciclo de líquidos e a unidade de destilação de refinado. O acidente ocorreu especificamente nesta última unidade, onde eram separados em componentes leves (produto de topo) e pesados (produto de fundo) o refinado, uma mistura de hidrocarbonetos de cadeia linear primária não aromática (Kalantarnia, 2010).

7.2.1. Equipamentos

A figura 22 apresenta a seção de destilação de refinado na unidade ISOM e seus respectivos equipamentos. No canto inferior esquerdo da figura 22 está representada a **bomba de alimentação**, responsável por transportar o refinado ao **forno**, onde este aquece a matéria-prima para a sua entrada no meio da **torre de destilação vertical** de 52 metros de altura e capacidade de 586.100 litros (Kalantarnia, 2010). A torre é alimentada até atingir aproximadamente o nível de dois metros, segundo especificações de procedimento da BP, e o processo de transferência de massa entre as fases líquida e vapor ocorre à medida que o refinado evapora. Os componentes mais voláteis então começam a sair pelo topo da coluna, e os mais pesados começam a escoar pelo fundo. A partir desse momento, se inicia o refluxo, para que se aumente a pureza dos produtos de topo e de fundo e se torne o processo de separação mais eficiente. O produto de topo sai da torre na fase vapor, é conduzido para o **condensador** e depositado no estado líquido no **tambor de refluxo**, que retorna parte do produto para a torre de destilação e encaminha outra parte para um **trocador de calor**, o qual resfria ainda mais o produto de topo para que este seja armazenado em tanques. A carga que sai da coluna de destilação como produto de fundo passa por um divisor de fluxo, uma parte retorna para a torre passando pelo forno, e a outra é utilizada como corrente quente no **trocador de calor**, pré-aquecendo a alimentação antes da sua entrada no forno, (e dessa forma economizando energia), para que depois o produto de fundo possa ser armazenado em tanque.

FIGURA 22 - SEÇÃO DE DESTILAÇÃO DE RAFINADO DA UNIDADE DE ISOMERIZAÇÃO



Fonte: Adaptada de CSB, 2007.

A seção também contava com um sistema de descarga de gases industriais, composto por um **tambor de purga** e uma **chaminé**. O tambor de purga foi projetado para aceitar mistura de hidrocarbonetos líquidos e/ou vapor das válvulas de alívio localizadas antes do condensador e daquela acima do tambor de refluxo, durante interrupções da unidade ou após o desligamento da mesma (Kalantarnia, 2010).

7.2.2. Salvaguardas

A seguir serão listadas as salvaguardas dos principais equipamentos da unidade e, caso necessário, suas devidas descrições (Kalantarnia, 2010):

Torre de destilação

- Válvula automática de controle fluxo de entrada;

Essa válvula ajustava automaticamente a taxa de entrada de refinado na torre.

- Válvula de controle de nível;

Válvula utilizada para manter o nível constante dentro da torre.

- Transmissor de nível;

Na base da torre, havia um indicador de nível que media a quantidade de líquido no interior da mesma e transmitia esses dados para a sala de controle, localizada a certa distância da unidade de isomerização. O indicador só conseguia fazer a leitura para um nível de até no máximo três metros, pois fora projetado em concordância com o procedimento operacional da torre (CSB, 2007), que especificava que a torre fosse alimentada até se atingir dois metros de altura de líquido.

- Visor de nível;

Visor de vidro para conferência visual do nível de líquido na torre.

- Alarmes de nível;

A torre de destilação possuía dois alarmes de nível: o primeiro, representado na figura 22 por LAL, era acionado quando o líquido atingia aproximadamente 2,5 metros; o segundo, LAH, soava um nível um pouco acima do primeiro (BP Texas City Explosion, 2008).

- Válvulas de alívio de segurança paralelas;

A tubulação de saída de produto do topo da torre era equipada com três válvulas de alívio em paralelo, que rompiam quando a pressão da linha atingia 40, 41 e 42 psig respectivamente.

- Válvula manual de desvio.

Também localizada na saída de topo da torre, essa válvula, quando acionada manualmente, enviava o vapor diretamente para o tambor de purga.

Tambor de Refluxo

- Válvula de desvio;

Quando essa válvula era acionada, os vapores eram conduzidos diretamente para o tambor de purga.

- Válvula de alívio de segurança.

Localizada acima do tambor de refluxo, essa válvula abria se fosse atingida uma determinada pressão perigosamente alta dentro do equipamento e enviava os vapores contidos nele diretamente para o tambor de purga, de modo a aliviar a pressão.

Tambor de Purga

- Válvulas manuais de bloqueio;

Existiam duas válvulas manuais abaixo do tambor de refluxo que, quando fechadas, bloqueavam a passagem de corrente para o esgoto e para os tanques de armazenamento.

- Alarme de nível alto;

O tambor de purga era equipado com um alarme de nível alto, representado na figura 22 por LAH.

- Visor de nível.

7.3. O Acidente

O acidente do dia 23 de março de 2005 ocorreu durante o procedimento de *start-up* da unidade de isomerização da planta e foi consequência de diversas falhas humanas e técnicas em série, que culminaram na explosão e incêndio do local. A seguir, serão descritas as condições em que se encontravam os equipamentos e sistemas de segurança, assim como também como eram praticadas as atividades operacionais na instalação na época do acidente.

7.3.1. Condições de operação, equipamentos e sistemas de segurança do dia 23 de março de 2005.

No dia do acidente, diversas unidades da refinaria estavam paralisadas para a execução de projetos de manutenção de ampla atuação. A execução desses projetos demandou que aproximadamente mil contratados estivessem na planta na data do evento, trabalhando juntamente com os

funcionários da BP. A empresa alugou e posicionou diversos *trailers* portáteis em diferentes áreas operacionais da fábrica para alocar contratados e pessoal de manutenção durante o tempo de realização do projeto mencionado. Durante um período de meses, a BP alocou 10 *trailers*, onde reuniões eram regularmente realizadas, para o uso de trabalhadores servindo a unidade de ultra crackeamento. Ocorre que esses *trailers* estavam localizados ao lado da unidade ISOM, especificamente ao lado do tambor de purga (como mostrado na figura 23), área potencialmente perigosa principalmente durante a realização do procedimento de *start-up* da torre de destilação (BP Texas City Explosion, 2008). Dessa forma, fica claro que a BP não implantou as atividades de MOC para realizar essa mudança temporária de *layout* operacional, pois, caso tivesse feito um estudo de risco, a decisão de alocar os *trailers* não seria aprovada da maneira como ocorreu, sem qualquer medida de controle implantada, como treinar os ocupantes para evacuar o local antes do procedimento de *start-up*.

FIGURA 23 - VISTA SUPERIOR DA UNIDADE DE ISOMERIZAÇÃO E SEUS ARREDORES



Fonte: Adaptada de BP Texas City Explosion, 2008.

É importante mencionar como era usualmente realizado esse procedimento de *start-up*, que acabou por desencadear uma série de falhas que culminaram no acidente. Em operações como essa, o nível de líquido dentro da torre não deveria ultrapassar a marca dos dois metros, de acordo com procedimentos escritos, porém, segundo a operação, seguir essa especificação poderia acarretar danos ao forno. A justificativa para tal afirmação seria que, quando a bomba de fundo da torre iniciava o refluxo de refinado pesado, e as tubulações e equipamentos auxiliares eram preenchidas com o líquido, uma queda de nível ocorria dentro da torre, de tal forma que, se estivesse preenchida com apenas dois metros, o risco de perda de fluxo na bomba, que levava refinado para o forno, seria alto. Essa perda de fluxo no forno acarretava o desligamento automático do mesmo e, conseqüentemente, do procedimento de *start-up*, tendo em vista que esse era um sistema de salvaguarda para proteger as tubulações do forno contra o superaquecimento. Dessa forma, era costumeiro que os funcionários ultrapassassem o limite de dois metros especificados. A válvula de

controle de nível era posicionada no modo manual, descumprindo o procedimento que exigia que a mesma estivesse no modo automático, e era mantida fechada para que fosse possível ultrapassar a quantidade de líquido recomendada (CSB, 2007).

O desvio do procedimento de *start-up* demonstra como a força de trabalho não era devidamente envolvida no aprimoramento do sistema de segurança de processos, pois a mesma teve de adaptar informalmente um procedimento que necessitava de atualizações para poder atender as demandas operacionais.

Outra condição importante para o entendimento do acidente é acerca do número de funcionários envolvidos nesse procedimento mencionado. Os cortes orçamentários realizados em 1999 afetaram a equipe de controle, que foi reduzida. O número de operadores de controle na unidade de isomerização passou de dois para um, com esse único operador sendo responsável por supervisionar três unidades da refinaria. Segundo avaliação da própria BP, monitorar essas três unidades em condições normais demandava 10,5 horas do turno de 12 horas do operador. Além disso, durante um *start-up*, é necessário muito mais atenção e tempo do operador do que em operações de rotina, o que sobrecarrega ainda mais o trabalhador (CSB, 2007).

A manutenção da instalação também desempenhou um papel importante na contribuição para a formação do cenário acidental, ao permitir que diversos equipamentos e sistemas de segurança se deteriorassem com o passar do tempo. A investigação da CSB descobriu que pedidos de reparo eram frequentemente considerados solucionados sem que a manutenção fosse sequer executada e o problema fosse consertado. Por exemplo, notificações de que o alarme de nível alto da torre de destilação não estava funcionando foram realizadas diversas vezes dois anos antes do acidente (CSB, 2007).

Um fator agravante à falta de manutenção eram os equipamentos antigos, que possuíam *design* obsoleto e necessitavam de atualizações para que se pudesse operá-los com maior segurança e confiabilidade. A torre de fracionamento não dispunha de um sistema de segurança moderno que contasse com mais alarmes, indicadores de níveis redundantes, indicador de pressão diferencial e intertravamento automático para prevenir que fossem atingidos níveis de líquido muito altos dentro da torre. Em vez disso, o indicador de nível da torre, além de ter uma faixa de operação limitada (marcando apenas até a altura de três metros), não estava calibrado corretamente para o processo de *start-up* atual. A CSB constatou que o indicador, que convertia a pressão exercida por uma coluna de líquido em leitura de nível utilizando a densidade do mesmo como fator de conversão, estava calibrado com dados de densidade de outra matéria-prima pertencente a um processo operado em 1975 (CSB, 2007). Além disso, o visor de vidro da torre estava sujo e ilegível, impedindo uma checagem visual do nível. E o painel da sala de controle que representava a torre de destilação não era configurado para mostrar o perigo iminente. Os fluxos de entrada e saída não apareciam na mesma tela, e tampouco o nível de líquido dentro da torre era calculado, dificultando, assim, que o operador tivesse uma boa visualização do processo como um todo (CSB, 2007).

O sistema de emergência da unidade ISOM também necessitava de equipamentos mais modernos. Ele contava com um tambor de purga da década de 50, que liberava os gases diretamente para a atmosfera, enquanto o correto seria ter um *flare* conectado à unidade, equipamento que iria conter o líquido e queimar o gás inflamável (CSB, 2007). Todos esses fatores favoreciam que um cenário acidental escalasse silenciosamente, dificultando a gestão de emergência dentro da instalação.

A situação do tambor de purga antigo já era perigosa por si só, mas seu perigo foi potencializado ao se alocarem os *trailers* nas proximidades.

7.3.2. Cronologia do acidente

Os eventos que levaram à explosão começaram no início da madrugada do dia 23, por volta das duas da manhã, quando operadores do turno da noite deram início ao processo de *start-up* da unidade introduzindo hidrocarbonetos líquidos inflamáveis na torre de fracionamento (CSB, 2007). Abaixo serão apresentados, em ordem cronológica, marcos relevantes ao acidente e seus horários.

3h09 Aproximadamente uma hora após o início do *start-up*, o líquido chegou à altura de 2,5 metros, e um alarme disparou na sala de controle, porém um segundo alarme um pouco mais acima falhou e deixou de soar, levando os operadores a acreditarem que podiam continuar com a alimentação (CSB, 2007).

3h30 Passados 20 minutos do disparo do alarme, o indicador de nível mostrava que o líquido estava na marca dos três metros, e a alimentação finalmente foi interrompida. Posteriormente, durante a investigação, a CSB estimou que o líquido nesse momento na verdade já estava em quatro metros, fato de que os operadores não podiam ter conhecimento, já que o indicador não marcava níveis superiores a 3 metros (CSB, 2007).

5h O operador-chefe que monitorava o *start-up* da sala de controle dentro da unidade saiu uma hora antes do final do turno. Antes de sair, ele falou brevemente com o operador da sala de controle central para atualizá-lo sobre as atividades do *start-up* (CSB, 2007). Na figura 23, estão representadas as localizações das duas salas de controle envolvidas no monitoramento do procedimento.

6h Ocorreu a troca de turno do operador da sala de controle central. O operador do turno da manhã, que estava chegando para seu trigésimo dia consecutivo de 12 horas de trabalho, falou também brevemente com o operador da noite e em seguida leu o livro de registros para se preparar para a retomada do *start-up*. Havia apenas uma entrada no livro que dizia “ISOM: trouxe algum refinado para a unidade, para completar com refinado” (CSB, 2007), o que deixou margem para duas possíveis interpretações: (1) o operador do turno anterior tinha adicionado refinado na torre pois tinha a intenção de completar a alimentação da torre; e (2) já havia sido enviado refinado para a torre, mas ainda era necessário completar a alimentação. Como nenhuma informação lhe foi dada

sobre o alarme que disparara, nem instruções sobre a devida rota de líquidos e produtos para reiniciar o processo, o operador inferiu que a torre ainda precisava ser alimentada (CSB, 2007).

7h15 O supervisor diurno da sala de controle central chegou mais de uma hora atrasado para o turno, portanto nenhuma informação formal sobre o processo na unidade Ihe foi passada pela equipe da noite, que já não estava mais no local (CSB, 2007).

9h51 Aproximadamente quatro horas após o início do turno diurno, o *start-up* foi reiniciado, a alimentação foi retomada, a torre recebeu ainda mais refinado, e o forno foi acionado para elevar a temperatura da corrente de entrada. Com a retomada da alimentação, o nível da torre deveria ser controlado por uma válvula automática de controle de volume, entretanto, essa válvula fundamental ficou fechada por horas devido às instruções divergentes que o operador recebeu sobre o roteamento dos produtos. Com a válvula fechada, o fluxo de saída da torre foi obstruído (CSB, 2007).

11h O supervisor diurno comunicou que teria de ir embora por motivos pessoais, e nenhum supervisor experiente ficou em seu lugar, em contrariedade às próprias normas da BP. A ausência deixou apenas um operador, sem supervisão adequada, na sala de controle central para monitorar, além da unidade de isomerização, duas outras (CSB, 2007).

12h Enquanto o *start-up* continuava, a torre ficava perigosamente cheia, atingindo o nível de 30 metros duas horas após a retomada do procedimento. Porém, o indicador mal calibrado apontava que o nível estava apenas na marca de 2,5 metros e que diminuía gradualmente (CSB, 2007).

Os funcionários contratados da manutenção deixavam os *trailers* para participarem de um almoço da empresa (CSB, 2007).

12h41 Um pouco depois, o líquido ascendente começou a comprimir os gases no topo da torre, fazendo um alarme disparar. Os operadores, que não entendiam a fonte da alta pressão, abriram a válvula manual para liberar os gases para o sistema de alívio de emergência, enviando-os para o tambor de purga e chaminé. Acreditando que isso poderia ajudar a reduzir a pressão, os operadores também desligaram dois queimadores do forno para diminuir a temperatura dentro da torre (CSB, 2007).

Ao notar a falta de saída de líquido, os operadores então abriram uma válvula para enviar líquido do fundo da torre para tanques de armazenamento. Porém, o líquido, como se encontrava muito quente, ao passar pelo trocador de calor fez com que a temperatura do líquido que entrava na torre aumentasse em 60°C, o que resultou em um maior incremento da pressão (CSB, 2007). Essa tentativa frustrada da operação de controlar o desvio de pressão indica como a competência dos trabalhadores apresentava lacunas significativas.

13h Enquanto as equipes de manutenção retornavam do almoço e se reuniam na sala do *trailer* mais próxima ao tambor de purga, a alimentação quente da torre estava fazendo o líquido ferver e dilatar. Nos minutos seguintes, o líquido preencheu completamente a torre e foi derramado através da saída de topo, exercendo uma alta pressão nas válvulas de emergência que se encontravam 45 metros abaixo (CSB, 2007).

13h14 Com a pressão exercida, as três válvulas de emergência se abriram, enviando 52 mil galões do líquido inflamável para o tambor de purga e enchendo-o. O alarme de nível alto do tambor de purga não disparou e deixou novamente o operador na sala de controle sem conhecimento da real situação da unidade (CSB, 2007).

Operadores que se encontravam próximos ao tambor de purga viram líquido e vapor eclodirem do topo da chaminé e caírem sobre a unidade, formando uma enorme nuvem de gás inflamável. A nuvem se espalhou e, em menos de dois minutos, cobriu toda a unidade, incluindo a parte onde os *trailers* com os funcionários estavam localizados (CSB, 2007).

13h20 A cerca de sete metros de distância do tambor de purga, dois funcionários estavam dentro de uma caminhonete com o motor ligado. O vapor da nuvem entrou na admissão de ar do carro e fez o motor acelerar. Os dois homens escaparam, incapazes de desligar o motor. Logo em seguida, o escapamento do carro estourou, o que causou a ignição da nuvem de gás. Várias explosões ocorreram, e os incêndios duraram horas (CSB, 2007).

7.4. Impactos

A tragédia foi considerada o pior acidente industrial em solo norte-americano desde 1990, com 15 mortos e 180 feridos, os quais sofreram queimaduras, fraturas e outras lesões. Todos os casos de óbito foram dos trabalhadores que estavam dentro dos *trailers* localizados próximo à unidade ISOM. Dos 20 ocupantes, apenas cinco sobreviveram.

A explosão destruiu completamente 13 *trailers* e danificou janelas em um raio de até 1,2 Km da refinaria e 43 mil habitantes de Texas city foram instruídos a não deixarem suas casas por conta da fumaça exalada na refinaria. A figura 24 mostra os destroços da planta após a explosão (CSB, 2007).

O acidente custou bilhões de dólares à BP, entre compensações às vítimas, danos à propriedade e perda de produção, uma vez que a unidade ISOM permaneceu fechada por mais de dois anos.

7.5. Investigações

O acidente na refinaria da BP resultou na maior e mais metódica investigação realizada pela CSB, que demorou dois anos para ser concluída e gerou um relatório oficial de mais de 300 páginas

divulgado ao público geral. O escopo da investigação abrangeu a análise de milhares de documentos, voluntariamente liberados pela BP, o relato de 370 testemunhas e uma inspeção da planta na qual mais de 40 equipamentos e objetos de instrumentação foram analisados (CSB, 2007).

FIGURA 24 - UNIDADE DE ISOMERIZAÇÃO APÓS A EXPLOSÃO



Fonte: CSB, 2007.

A CSB concluiu que o acidente foi consequência de falhas de segurança e organizacionais em todos os níveis da empresa. A direção da BP vinha há anos ignorando os sinais de uma possível catástrofe, já que havia um histórico de fatalidades na planta, com 23 óbitos em acidentes ao longo dos 30 anos anteriores ao de março de 2005 (CSB, 2007).

Analisar apenas os erros dos operadores e supervisores no dia do acidente não seria o suficiente para entender as causas mais profundas e estruturais que levaram ao acidente. A CSB almejava entender a ligação entre o histórico de acidentes fatais e a cultura de segurança da BP (CSB, 2007).

Um dos aspectos mais problemáticos na cultura da empresa eram os métodos utilizados para medir as condições de segurança. Ocorre que a ênfase da planta era em segurança ocupacional, não na segurança de processo (CSB, 2007).

Após a investigação conduzida pela CSB ser iniciada, vários documentos da BP se tornaram públicos, incluindo os de inúmeras auditorias internas. Vários incidentes nos anos anteriores, como incêndios e vazamentos de gás e outras substâncias, apontavam para uma má gestão de segurança de processos. Uma auditoria interna realizada em 2002 revelou que haviam ocorrido 80 vazamentos de hidrocarbonetos em dois anos (CSB, 2007).

Além da cultura de segurança voltada para segurança pessoal em vez da de processos, outros fatores também foram determinantes para o acidente ocorrido em março de 2005, tais como a cultura de comunicação e aprendizado da BP, o design obsoleto de equipamentos da planta, a localização dos *trailers* e fatores humanos. Todos esses também contribuíram significativamente para a proporção da tragédia (CSB, 2007).

Como citado previamente, as próprias auditorias internas da BP indicavam uma falta de confiança no local de trabalho. A ausência desse ambiente de confiança dificultava que os funcionários levassem suas preocupações a seus superiores (CSB, 2007).

No dia do acidente, os operadores afirmaram que a comunicação verbal entre as equipes foi rápida e vaga e que a comunicação escrita, por meio do livro de registros, foi pouco clara. O operador de controle diurno não tinha total conhecimento dos eventos da noite anterior, e as decisões tomadas ao longo da retomada do *start-up* foram baseadas em informações incompletas. A CSB constatou que a BP não tinha políticas apropriadas sobre comunicação eficiente (CSB, 2007).

As culturas pobres de comunicação e aprendizado tinham como consequência uma indiferença da BP aos alertas de possíveis acidentes. A empresa nunca investigou as condições anormais nas quais os *start-ups* estavam sendo realizados. A CSB analisou 19 procedimentos de *start-up* realizados nos cinco anos anteriores e concluiu que, na maioria deles, os operadores usavam níveis altos de líquido, acima da medida de leitura máxima do sensor de nível (CSB, 2007).

Era desconhecido entre os operadores que encher frequentemente a torre acima do nível exigido no procedimento era perigoso. A prática era tão comum que a CSB descobriu que o alarme de nível alto disparou 65 vezes nos 19 *start-ups* anteriores (CSB, 2007).

Por consequência da calibração incorreta, na situação do acidente o indicador mostrou que o nível de líquido na torre estava diminuindo, enquanto, na verdade, estava aumentando. As próprias normas da BP exigiam que o funcionamento de todos os equipamentos importantes como alarmes, válvulas e outros fosse verificado antes do início de um *start-up*, porém a CSB descobriu que essas verificações não eram realizadas (CSB, 2007).

A investigação abordou também a questão da fadiga dos operadores. Além da sobrecarga de trabalho em seus turnos, os operadores da unidade estavam há 29 dias consecutivos antes do acidente alternando-se turnos de 12 horas, sem nenhuma folga. A fadiga afeta consideravelmente o desempenho do operador, podendo levar a reações atrasadas, a dificuldade na tomada de decisões e a falta de percepção sobre o que se passa na unidade (CSB, 2007).

Após os cortes, o treinamento também foi reduzido e passou a ser em grande parte realizado por meio de computadores em vez de exercícios reais. Não houve treinamento sobre os perigos de encher demais a torre, e treinos para situações anormais foram insuficientes. Os operadores também não treinaram situações críticas em simuladores como deveriam, e a BP alegou que o problema era sempre o custo inicial de tal operação (CSB, 2007).

A soma de todos os fatores citados até aqui foi o que levou o acidente na refinaria a tomar proporções tão grandes.

8. ANÁLISE DE FALHAS NO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS RBPS NO ACIDENTE DE TEXAS CITY.

Diferentemente de Bhopal, a refinaria da BP de Texas City já praticava uma Gestão em Segurança de Processo. A instalação estava sujeita inclusive a análises de conformidade pelas agências reguladoras da OSHA e da EPA, com os regulamentos PSM e RMP respectivamente. Entretanto, a análise feita neste trabalho é referente à modalidade de gerenciamento de segurança de processos baseada em risco, diferente da que era aplicada na instalação. Dessa forma, novamente, a análise de falhas que o presente trabalho se propõe a fazer se baseia na aplicação da metodologia RBPS no contexto da refinaria, para que, e usando as diretrizes como padrão, sejam determinadas as falhas que contribuíram para a ocorrência do acidente.

Abaixo serão apresentadas as falhas relacionadas a cada elemento.

8.1. Cultura de Segurança

Como foi concluído pela CSB após uma meticulosa investigação do caso, a cultura de segurança praticada na refinaria era inapropriada e fraca e serviu como pano de fundo, ou causa primária, para o desenvolvimento de todas as outras falhas ocorridas no sistema de gerenciamento de segurança de processos.

Em primeiro lugar, um equívoco conceitual foi cometido na criação e reforço da cultura de segurança da instalação: deu-se ênfase à segurança ocupacional, que tem pouca relevância para a prevenção de acidentes maiores, e não foi abordada a segurança de processos.

Em segundo lugar, uma cultura de segurança é criada e gerenciada pela liderança. No caso da planta da BP, a gerência não incentivava um ambiente de aprendizado voltado para a segurança de processos, tendo em vista que acidentes ocorriam com certa frequência e que lições aprendidas não eram transmitidas e reforçadas para a força de trabalho. Outro aspecto que prejudicou a atuação da liderança no gerenciamento eficiente da segurança de processos foi a alta taxa de mudança de gerentes que ocorria na instalação, que gerava descontinuidade e discrepâncias entre uma gerência e outra.

Adicione-se a isso uma fraqueza cultural que gerou grande impacto e desencadeou outras falhas, a saber, a segurança não ser tratada como prioridade na refinaria e ficou suscetível ao corte de recursos. Desde a compra da instalação pela BP, cortes foram feitos nas áreas de pessoal, treinamento, manutenção e atualização de infraestrutura, de modo a impactar diretamente o bom desempenho do sistema de segurança como um todo.

Além do investimento insuficiente, outro sintoma da falta de priorização da segurança era a não resolução dos problemas relacionados a ela quando os mesmos eram evidenciados. Em diversas ocasiões, a situação crítica de segurança foi exposta para líderes da BP, que não tratavam dos problemas expostos pelas inúmeras auditorias, estudos e avaliações realizadas no decorrer dos anos.

Sem que soluções fossem dadas às questões de segurança, a aceitação gradual de desempenhos cada vez piores em segurança de processos ocorreu, evidenciada pelos constantes descumprimentos dos procedimentos escritos e pela atuação negligente da manutenção, que não realizava os reparos quando os mesmos eram requisitados.

O aumento de pressão que ocorreu na torre momentos antes do acidente evidenciou a falta de competência dos operadores em restabelecer as condições ideais de pressão e revelou lacunas no conhecimento e treinamento da força de trabalho. A falta de acesso ao conhecimento influenciou diretamente no senso de vulnerabilidade dos trabalhadores, que desconheciam os perigos aos quais estavam expostos ao realizar o procedimento de *start-up* com excesso de refinado.

Por fim, uma boa cultura de segurança de processos tem como característica principal uma comunicação eficiente entre seus colaboradores. Como foi averiguado pela CSB, a BP não implantou políticas apropriadas de comunicação na refinaria. Isso resultou em diversos episódios, ocorridos horas antes do acidente, de comunicação ineficiente entre turnos.

As falhas desse elemento se assemelham em muitos aspectos às cometidas em Bhopal. A não priorização da segurança, com realização de cortes de recursos essenciais à mesma, e a demora ou não atendimento das demandas evidenciadas em auditorias e análises ocorreram em ambos os casos estudados. Conseqüentemente, ambas as instalações sofreram um processo de aceitação gradual de desempenho abaixo dos padrões, o que revela uma cultura de segurança fraca, com sintomas clássicos como comunicação ineficiente, baixo senso de vulnerabilidade e falta de capacitação em responder a situações de desvio corretamente.

8.2. Conformidade com Padrões e Normas

Assim como em Bhopal, esse elemento não foi bem aplicado na refinaria de Texas City, situação que resultou no não atendimento de diversos padrões internos e normas legais.

As semelhanças entre os dois casos se tornam claras meses antes dos eventos acontecerem, pois tanto a UCC quanto a BP tiveram a mesma conduta negligente frente ao estado de não conformidade das suas instalações, evidenciado em auditorias e estudos, ao não solucionarem as demandas de segurança que surgiam. Em Texas City, a não conformidade foi evidenciada para a liderança em diversos momentos antes do acidente, inclusive por um órgão de fiscalização legal, a OSHA, quando a Amoco ainda detinha a instalação e se recusou a acatar a recomendação da

mesma sobre a necessidade de troca do tambor de purga ultrapassado. Apesar de se tratar de outra empresa, a BP foi informada sobre essa não conformidade e optou por manter a decisão da Amoco em não substituir o equipamento, que mais tarde teria ligação direta com o acidente de 2005.

Entretanto, apesar da OSHA realizar auditorias na refinaria de Texas City, ela falhou em cumprir seu papel principal de garantir que a instalação era segura para os trabalhadores e a comunidade local, ao passo que não diagnosticou as falhas no sistema de gestão de segurança de processos que ocorriam na empresa. Já a EPA sequer realizou auditorias na instalação, mesmo a refinaria estando sujeita ao cumprimento do regulamento do Plano de Gerenciamento de Riscos (RMP). Dessa forma, outra semelhança com Bhopal se torna evidente, visto que o governo indiano também deixou de fiscalizar e assegurar o cumprimento das normas de segurança.

8.3. Competência em Segurança de Processo

Tal qual ocorreu em Bhopal, a competência insuficiente dos trabalhadores em Texas City foi determinante para que falhas operacionais se convertessem em um acidente. Novamente os operadores não conseguiram restabelecer as condições normais de operação quando uma medida de controle foi observada fora dos padrões. Os trabalhadores tentaram solucionar o problema da alta pressão dentro da torre, sem sucesso, abrindo a válvula manual de alívio, desligando parcialmente o forno e iniciando a armazenagem do produto. Ocorreu que a decisão de iniciar a armazenagem de produto agravou o problema de alta pressão dentro da torre, pois aumentou a temperatura de entrada da alimentação na torre devido à integração energética que existia no equipamento.

Quando um elemento não atinge seu principal objetivo, a causa-raiz se encontra na execução inadequada de suas atividades ou na não realização das mesmas. Em Texas e em Bhopal, atividades de aprendizado, tanto pontuais como abrangentes, não foram realizadas. Os operadores da refinaria desconheciam o risco de encher a torre acima do nível exigido no procedimento, demonstrando que não foram capacitados mediante o estudo da análise de risco do processo. Tampouco foram aplicadas atividades abrangentes de promoção do conhecimento organizacional utilizando os acidentes ocorridos anteriormente na instalação e em outras unidades como fonte de aprendizado.

8.4. Envolvimento da Força de Trabalho

No caso do acidente ocorrido em Texas City, o elemento Envolvimento da força de trabalho apresentou menos falhas do que o caso de Bhopal. Um exemplo de como esse elemento foi mais bem implementado na refinaria é a conduta dos operadores frente ao alerta de pressão alta: eles atuaram imediatamente para restabelecer as condições normais de operação, enquanto em Bhopal os sinais de instabilidade de processo foram inúmeras vezes ignorados.

Entretanto, isso não significa que o elemento não necessitava de ajustes em Texas City. Analisando a cronologia do acidente, é possível interpretar que, a partir do momento em que o supervisor sai antecipadamente e deixa o operador sozinho na sala de controle, contrariando os protocolos da própria BP, lacunas são deixadas na hierarquia de responsabilidades existente dentro do contexto de segurança de processos. A responsabilidade de tomada de decisão recaiu inteiramente sobre o operador, que recebe menos treinamento, estando dessa forma menos preparado para situações como essas do que um supervisor. A ação do supervisor desequilibrou a distribuição de responsabilidades e gerou sobrecarga para o trabalhador.

Outro aspecto no qual esse elemento poderia ser aprimorado seria a consulta à força de trabalho no tocante às diversas questões de operação com impacto em segurança. Como citado na descrição das condições de operação da instalação na data do acidente, os operadores desviavam do procedimento operacional alegando que segui-lo à risca acarretaria danos a equipamentos e a interrupção do procedimento de *start-up* devido ao desligamento automático de salvaguarda para proteger as tubulações do forno contra o superaquecimento. Dessa forma, a perícia adquirida no cotidiano das operações não foi considerada, não sendo investigada para que o procedimento fosse atualizado para uma metodologia eficiente e segura. Isso abriu margem para imprevistos.

8.5. Abrangência às partes interessadas

Diferentemente de Bhopal, onde esse elemento teve grande impacto no número de vítimas decorrentes do acidente, no caso de Texas City não há evidências de falhas nesse elemento com relevância para o evento ocorrido.

8.6. Gestão do Conhecimento de Processo

A gestão do Conhecimento na refinaria de Texas City apresentou duas principais falhas que contribuíram para a formação do cenário acidental. A primeira é referente à disponibilização do conhecimento acerca da segurança de processos para os seus funcionários diretamente envolvidos com a operação. De acordo com entrevistas realizadas pela CSB, os operadores alegaram que desconheciam o risco de encher a torre de destilação acima do nível estipulado pelo procedimento operacional, o que sugere que a informação não foi disponibilizada aos mesmos.

A segunda falha é relativa à atualização do conhecimento ao longo da fase de operação da instalação. Nesse aspecto, como explicado no elemento Envolvimento da Força de Trabalho, a gestão falhou em considerar a experiência adquirida pelos operadores acerca da operação de *start-up* e não incorporou o conhecimento adquirido por meio da atualização de procedimentos e do banco de dados de informações referentes à operação.

Ainda referente à atualização do conhecimento, assim como ocorreu em Bhopal, os acidentes anteriores ocorridos na refinaria não foram utilizados como fonte de conhecimentos pela gestão, ato que permitiu a reincidência de acidentes similares na instalação, culminando naquele que ocorreu a 23 de março de 2005.

8.7. Identificação de Perigos e Análises de Risco

Ao contrário do que ocorreu em Bhopal, os estudos de identificação de perigos e análises de risco eram realizados na refinaria. Dessa forma, a gestão estava ciente dos riscos aos quais seus trabalhadores estavam expostos. Evidências que comprovam essa afirmação foram apresentadas em diversos momentos na descrição do caso do acidente em Texas City. Em 2002, o gerente da planta realizou estudos que constataram a necessidade de renovação da infraestrutura e de equipamentos na unidade. Novamente, em 2004, um gerente da planta realizou análises que concluíram que a segurança não estava dentro dos níveis toleráveis em um ambiente de trabalho seguro. Adicionado a esses episódios, o sistema de purga da década de 50 já tinha sido identificado, em diferentes momentos, como uma fonte perigosa de risco. A OSHA requisitou inclusive sua substituição quando a refinaria ainda era propriedade da Amoco.

Entretanto, apesar das análises de risco terem sido realizadas em Texas City, as atualizações e medidas de controle, demandadas por esses estudos, não foram efetuadas, o que transformou essas análises em alertas que foram ignorados.

8.8. Procedimentos Operacionais

A gestão de Texas City, assim como a de Bhopal, não auditava seus procedimentos operacionais. A descrição do acidente ocorrido na refinaria revelou que o procedimento de *start-up* era sempre descumprido quanto ao nível de alimentação dentro da torre, evidenciando que o procedimento em questão não era auditado. Caso contrário, o desvio seria identificado, e medidas de correção seriam aplicadas, seja no alinhamento da operação com o procedimento, mediante treinamentos, seja na atualização do mesmo a partir da experiência adquirida pelos trabalhadores com a rotina operacional.

Outra falha, que também pode ser atribuída a esse elemento em conjunto com o elemento de Treinamento, foi o fato de que o procedimento de *start up* não alertava sobre o perigo de se encher a torre acima de níveis de segurança, contrariamente às diretrizes do RBPS, as quais indicam que os procedimentos devem conter perigos inerentes a operação.

8.9. Práticas de Trabalho Seguro

Assim como ocorreu em Bhopal, não há indícios de que falhas nesse elemento influenciaram na formação do cenário acidental ocorrido em Texas City.

8.10. Integridade de Ativos e Confiabilidade

Ao realizar uma análise comparativa dos dois casos apresentados por esse trabalho, é possível afirmar que as falhas e a importância do elemento de Integridade dos Ativos e Confiabilidade no contexto dos acidentes foram similares para ambos os casos.

Os equipamentos da unidade em Texas City também não foram devidamente mantidos com suas funcionalidades dentro dos padrões. Isso se verificou no indicador de nível da torre, que estava descalibrado, no visor de vidro, que estava sujo e ilegível, e em todos os equipamentos da unidade, que em geral apresentavam uma condição deteriorada, tanto que, por duas vezes, em 2002 e 2003, conluíram-se estudos que alertaram a gestão acerca da infraestrutura pobre e dos gastos insuficientes com manutenção.

A falta de competência da equipe de manutenção também se evidenciou em Texas City, na medida em que as ordens de serviço de manutenção eram fechadas sem que o conserto fosse realizado. E, finalmente, assim como ocorria em Bhopal, equipamentos envolvidos com o sistema de controle de parâmetros, como foi o caso dos diversos alarmes de níveis que falharam em Texas City, não possuíam sua confiabilidade garantida pela equipe de manutenção.

8.11. Gestão de Contratadas

O número de óbitos decorrentes do acidente de Texas City foi consequência direta das falhas relativas ao elemento Gestão de Contratadas. Em outras palavras, o acidente, apesar da sua natureza gravíssima, poderia ter ocorrido sem causar óbitos, não fosse a má gestão da equipe contratada para realizar manutenções na planta.

Assim como na refinaria, não existia uma política de localização de *trailers*, tampouco foi realizado um estudo de risco para determinar um local seguro para o posicionamento dos mesmos, de tal forma que a segurança, tanto para contratados como para operadores, fosse garantida. Levando em consideração apenas a conveniência e disponibilidade de espaço, os *trailers* foram posicionados a poucos metros do tambor de purga da unidade ISOM, adicionando risco não controlado à operação da equipe contratada.

Se o risco tivesse sido detectado em um estudo, uma medida de controle que poderia ter sido aplicada, considerando o mesmo local para posicionamento dos *trailers*, seria o treinamento dos

contratados para evacuá-los toda vez que o procedimento de *start-up* fosse iniciado, de modo a evitar a exposição ao risco.

Comparando ambos os casos dos acidentes estudados, o impacto que este elemento produziu em Texas City possui grande semelhança com o impacto do elemento de Abrangência às Partes Interessadas em Bhopal, sendo eles responsáveis, respectivamente, pelo número elevado de fatalidades em cada caso.

8.12. Treinamento e Garantia de Desempenho

Ao se analisar um acidente sob a perspectiva do gerenciamento de segurança de processos, é comum que falhas no elemento de Treinamento e Garantia de Desempenho sejam encontradas, tendo em vista sua forte influência no desempenho do sistema de gerenciamento como um todo. Dessa forma, assim como ocorreu em Bhopal, falhas nesse elemento em Texas City repercutiram em outros elementos, como na Competência, demonstrado pela ineficiência dos operadores em controlar a alta pressão dentro da torre.

Outra semelhança entre os casos diz respeito à não utilização dos incidentes e acidentes passados como fontes de demanda para o aprimoramento do treinamento. Conforme mencionado na descrição do caso, os eventos de segurança frequentemente eram investigados, entretanto, medidas corretivas apropriadas (dentre as quais a atualização do escopo de treinamento a partir da conclusões de tais investigações) não eram tomadas.

Por fim, a refinaria estava passando por um período de corte de custos, novamente semelhante a Bhopal, que foi realizado de maneira inadequada sob o ponto de vista da segurança de processos. O investimento em treinamento foi reduzido de tal forma que a qualidade do mesmo decaiu, passando a ser realizado em grande parte por meio de computadores em vez de exercícios reais.

8.13. Gerenciamento de Mudanças (MOC)

Na planta de pesticidas em Bhopal, diversas situações de aplicação do elemento MOC foram negligenciadas, incluindo aquelas que modificaram diretamente a estrutura envolvida nas operações. Em Texas City, pode se dizer que esse elemento não foi aplicado em duas situações, identificadas mediante a descrição do caso, que podem ser consideradas não tão óbvias sob o ponto de vista de fazer parte ou não do escopo do elemento MOC.

A primeira delas, de natureza completamente organizacional, sem que qualquer mudança de estrutura tenha ocorrido, foi a redução do número de operadores na sala de controle de dois para apenas um. Essa medida de corte, antes de ser aprovada, deveria ter sido avaliada pelo elemento de Mudanças, levando em consideração a própria avaliação da BP, que revelou a sobrecarga

imposta no operador remanescente, o qual deveria monitorar três importantes e diferentes processos simultaneamente.

A segunda situação a ser mencionada é relativa ao posicionamento dos *trailers* das contratadas. Essa mudança partiu de uma demanda organizacional, referente à oferta de um espaço para os contratados se reunirem, mas com impacto final no design operacional, tendo em vista que a área de posicionamento escolhida foi a operacional. Como mencionado no elemento de Gestão das Contratadas, essa escolha não foi bem avaliada e não gerou demandas para o elemento MOC.

8.14. Prontidão Operacional

O procedimento envolvido no acidente da BP era o de *start-up* (que, traduzido para o português, significa “inicialização”) da torre de destilação. Dessa forma, as falhas do elemento de Prontidão Operacional estão intimamente envolvidas com o caso, tendo em vista que o objetivo principal do mesmo é garantir a inicialização segura de procedimentos.

Em Texas City, o elemento não assegurou condições de equipamentos seguras para a reinicialização, dado que indicadores de nível da torre e alarmes do tambor de purga e da torre estavam inoperantes.

Outra falha foi referente à capacitação dos funcionários para realizar o procedimento de inicialização de forma eficaz e segura. Foi evidenciado que os operadores desviavam do procedimento escrito de *start-up* e que não foram capazes de controlar o parâmetro de pressão alta, inclusive agravaram o cenário acidental por meio da tentativa de corrigir o desvio.

Comparando com o caso da Carbide, o elemento apresentou as mesmas falhas em ambos os eventos, entretanto, na fábrica de pesticidas, as condições de prontidão operacional se encontravam mais gravemente deterioradas, com equipamentos do sistema de segurança inteiramente inoperantes.

8.15. Condução das Operações

Diferentemente do ocorrido em Bhopal, não há indícios de que falhas nesse elemento influenciaram na formação do cenário acidental ocorrido em Texas City.

8.16. Gerenciamento de Emergências

Existe uma diferença entre os dois casos de acidentes analisados por este trabalho, que influencia diretamente na análise de falhas do elemento de gestão de emergência. Ela refere-se ao tempo de resposta disponível para que sejam tomadas medidas de mitigação de danos a partir do momento

em que uma emergência é reconhecida, tempo esse que foi bastante discrepante quando se compararam os dois casos. Ocorre que, em Bhopal, esse período foi muito maior. Isso em grande parte pode ser atribuído ao tipo de acidente (não envolvendo explosão), em Texas City, por outro lado, o intervalo entre o reconhecimento do vazamento e a explosão representou segundos.

Dessa forma, tratando-se de uma refinaria, onde substâncias altamente inflamáveis estão presentes em larga escala, o planejamento de um sistema de alerta e salvaguarda eficiente se torna imprescindível em uma situação onde o acidente escala tão rapidamente.

Como já mencionado, a unidade possuía um design obsoleto e necessitava de um sistema de segurança mais moderno que contasse com mais alarmes, indicadores de níveis redundantes e intertravamento automático de operação. Entretanto, a realidade da instalação contava com um tambor de purga sem conexão com um *flare* e que liberava gases inflamáveis diretamente para a atmosfera, oferecendo risco de explosão em situações de vazamento. O tambor tinha ainda um alarme de nível alto que falhou ao ser acionado na ocasião do acidente, deixando o operador da sala de controle inadvertido sobre a iminência da situação catastrófica.

8.17. Investigação de Acidentes e Incidentes

O elemento de investigação de acidentes em Texas City foi gerenciado de forma semelhante a Bhopal. A unidade de Texas City também possuía, assim como a fábrica de pesticidas, um longo histórico de acidentes, inclusive alguns semelhantes ao último. Entre 1994 e 2004, ocorreram oito vazamentos de vapor inflamável do tambor de purga da unidade ISOM (CSB, 2007).

A análise do caso da refinaria pela CSB resultou nos diagnósticos de que incidentes frequentemente eram investigados de forma ineficaz e de que medidas corretivas não eram aplicadas.

E, assim como em Bhopal, a análise periódica do banco de dados para incidentes crônicos também não era praticada corretamente, tendo em vista os acidentes similares que ocorreram com o tambor de purga na unidade.

8.18. Indicadores e Monitoramento

Como explicado no elemento Investigação de Incidentes, os históricos de acidentes das unidades de Bhopal e Texas City possuíam características semelhantes e poderiam ter sido usados como indicadores reativos na prevenção de um novo evento.

Outra falha do elemento foi apresentada pela investigação da CSB, que concluiu que a refinaria utilizava medidores e indicadores do escopo de segurança ocupacional para diagnosticar a eficiência do seu sistema de segurança, ou seja, a escolha dos indicadores era inadequada para monitorar o sistema de segurança de processos da empresa.

8.19. Auditorias

Assim como foram apresentadas evidências de que auditorias eram realizadas em Bhopal, a CSB também encontrou relatórios de auditorias realizadas em Texas City, que, inclusive, diagnosticaram falhas importantes como a infraestrutura deteriorada da instalação. Entretanto, novamente, medidas corretivas não foram implantadas.

As auditorias externas de análise de conformidade com as normas regulamentadoras tiveram problemas de escopo (como quando a OSHA realizou auditoria na unidade e não diagnosticou as falhas do sistema de segurança de processos implantado) ou não foram efetuadas,; a EPA nunca chegou a realizar uma na unidade antes de 2005.

8.20. Avaliação da Gestão e Melhoria Contínua

Ao contrário do que foi observado no caso de Bhopal, muitas evidências em Texas City apontam que ocorriam avaliações de gestão na unidade. Desde 2002, alertas a respeito do sistema de segurança de processos deficiente foram feitos, consequência de avaliações de gestão que eram realizadas. Entretanto, medidas corretivas não foram tomadas para promover a melhoria contínua do sistema de gestão.

Além disso, a alta taxa de mudança de liderança que a refinaria apresentava prejudicou bastante esse elemento, na medida em que melhorias de investimento de longo prazo não eram a prioridade em gestões tão curtas.

9. Resultados e Discussão

A tabela 2 relaciona os 20 elementos do RBPS com cada caso, Bhopal e Texas, informando se o elemento em questão falhou no caso e quais foram suas principais falhas. Ela enumera também o número de falhas para cada caso e o número de falhas que foram semelhantes. Dessa forma, a partir da tabela, é possível identificar as similaridades (grifadas em cinza na tabela e enumeradas) e as diferenças entre os casos.

Em resumo, a tabela 2 demonstra que 18 elementos falharam no caso de Bhopal, e 17 no caso de Texas City. Aponta também que um total de 45 falhas foram identificadas no caso de Bhopal, e 33 no caso Texas; dentre essas, 26 foram similares em ambos os acidentes.

A partir dela, é possível constatar ainda que os elementos Cultura de Segurança de Processos, Procedimentos Operacionais, Treinamento e Garantia de Desempenho, Prontidão Operacional e Investigação de Incidentes e Acidentes se apresentaram de maneira semelhante em ambos os casos. Finalmente, a tabela evidencia que, com exceção do elemento de Gestão das Contratadas, todos os outros elementos que falharam em ambos os casos apresentaram maior número de falhas quando se tratava de Bhopal.

Os resultados obtidos podem ser interpretados por duas abordagens: qual foi a melhoria apresentada pelas organizações ao longo dos anos e onde é preciso investir mais recursos para promover a segurança de processos na indústria.

Pode-se responder à primeira abordagem mediante números obtidos como resultados: o acidente mais recente apresentou menor número de elementos que falharam e menos falhas em geral. Qualitativamente, é possível notar que a refinaria de Texas City possuía um nível maior de estrutura para tratar de segurança. A planta possuía de fato um sistema de gerenciamento, no qual eram realizados com frequência estudos de risco e análises de gestão, enquanto em Bhopal a abordagem para segurança era precária. Essa evolução apresentada pelo segundo caso possivelmente se deu em parte por diferenças econômicas e sociais. Além do contexto de um país subdesenvolvido, deve-se considerar as diferenças culturais ao se avaliar o desempenho em segurança de processo apresentado em Bhopal. Segundo Bowonder (1987), a UCC aplicou em Bhopal regras e procedimentos de segurança desenvolvidos para americanos. Dessa forma, a cultura indiana não foi considerada na modelagem de tais procedimentos, o que dificultou o desempenho correto dos mesmos. Adicionado a isso, o fator do tempo, um período de diferença de 21 anos, desenvolveu o seu papel no processo evolutivo da indústria no tema, promovendo condições mais favoráveis para que a refinaria de Texas City desenvolvesse uma melhor gestão de segurança.

O foco da segunda abordagem deve estar naqueles elementos que falharam em ambos os casos analisados. A indicação é de que a indústria como um todo ainda é ineficiente em aplicar corretamente tais elementos, assim como também nas falhas semelhantes. Os dados nos fazem questionar se realmente o setor aprendeu com a própria história de eventos e acidentes.

TABELA 2 - PRINCIPAIS FALHAS DOS CASOS BHOPAL E TEXAS.

Elemento	Bhopal			Texas			Falhas semelhantes
	Falhou?	Falhas:	n°	Falhou?	Falhas:	n°	n°
Cultura de Segurança	sim	<ul style="list-style-type: none"> Falta de priorização da segurança; Degradação do desempenho; Comunicação ineficiente; Baixo senso de vulnerabilidade. 	4	sim	<ul style="list-style-type: none"> Falta de priorização da segurança; Degradação do desempenho; Comunicação ineficiente; Baixo senso de vulnerabilidade. 	4	4
Conformidade com Padrões e Normas	sim	<ul style="list-style-type: none"> Atestados não confiáveis de conformidade; Gestão ignorou alertas de não conformidade fornecidos por auditorias e estudos; Negligência de órgãos reguladores; Quebra frequente de procedimento e protocolos. 	4	sim	<ul style="list-style-type: none"> Gestão ignorou alertas de não conformidade fornecidos por auditorias e estudos; Negligência de órgãos reguladores; Quebra frequente de procedimentos e protocolos. 	3	3
Competência	sim	<ul style="list-style-type: none"> Má gestão de transição de pessoal e capacitação para cargos; Incapacidade da operação em manter o processo dentro dos padrões e controlar desvios; Falta de promoção de aprendizado individual e coletivo. 	3	sim	<ul style="list-style-type: none"> Incapacidade da operação em manter o processo dentro dos padrões e controlar desvios; Falta de promoção de aprendizado individual e coletivo. 	2	2
Envolvimento da Força de Trabalho	sim	<ul style="list-style-type: none"> Falta de delegação de responsabilidades dentro da segurança de processos; Falta de envolvimento proativo dos funcionários; Falta de consulta a operação. 	3	sim	<ul style="list-style-type: none"> Falta de consulta a operação; Sobrecarga de trabalho. 	2	1

Fonte: Elaborada pelos autores.

TABELA 2 - PRINCIPAIS FALHAS DOS CASOS BHOPAL E TEXAS.

Elemento	Bhopal			Texas			Falhas semelhantes
	Falhou?	Falhas:	n°	Falhou?	Falhas:	n°	n°
Abrangência às partes interessadas	sim	<ul style="list-style-type: none"> Alto crescimento demográfico no entorno fabril; Inexistência de canal de comunicação com as partes interessadas; Falta de treinamento de emergência com a comunidade e autoridades. 	3	não		-	-
Gestão do Conhecimento de Processo	sim	<ul style="list-style-type: none"> Negligência da UCC em compartilhar conhecimento com sua filial indiana; Dificuldade da gestão da planta em incorporar e atualizar conhecimentos através da própria experiência. 	2	sim	<ul style="list-style-type: none"> Dificuldade da gestão da planta em incorporar e atualizar conhecimentos através da própria experiência; Falta de disponibilização de conhecimento para a operação. 	2	1
Identificação de Perigos e Análises de Risco	sim	<ul style="list-style-type: none"> Estudos de risco não foram realizados no dimensionamento dos equipamentos e sistemas de segurança; Não realização de análise de risco em situações de MOC; Identificação de Perigos e análise de riscos não foram considerados no planejamento de emergência e treinamentos. 	3	sim	<ul style="list-style-type: none"> Atualizações e medidas de controle provenientes de estudos de risco não foram implantadas. 	1	0
Procedimentos Operacionais	sim	<ul style="list-style-type: none"> Falta de monitoramento do desempenho da execução dos procedimentos operacionais. 	1	sim	<ul style="list-style-type: none"> Falta de monitoramento do desempenho da execução dos procedimentos operacionais. 	1	1

Fonte: Elaborada pelos autores.

TABELA 2 - PRINCIPAIS FALHAS DOS CASOS BHOPAL E TEXAS.

Elemento	Bhopal			Texas			Falhas semelhantes
	Falhou?	• Falhas:	n°	Falhou?	• Falhas:	n°	n°
Gerenciamento de Mudanças (MOC)	sim	<ul style="list-style-type: none"> • Não aplicação de MOC em mudanças organizacionais; • Não aplicação de MOC em mudanças operacionais. 	2	sim	<ul style="list-style-type: none"> • Não aplicação de MOC em mudanças organizacionais. 	1	1
Prontidão Operacional	sim	<ul style="list-style-type: none"> • Equipamentos não eram mantidos em condições de prontidão operacional; • Despreparo dos funcionários em conduzir procedimentos de inicialização com sucesso. 	2	sim	<ul style="list-style-type: none"> • Equipamentos não eram mantidos em condições de prontidão operacional; • Despreparo dos funcionários em conduzir procedimentos de inicialização com sucesso. 	2	2
Condução das Operações	sim	<ul style="list-style-type: none"> • Execução das atividades não eram monitoradas; • Má performance sistemática na condução de várias operações na unidade; • As ações da gestão entravam em contradição com atitudes seguras e padrões. 	3	não		-	-
Gerenciamento de Emergências	sim	<ul style="list-style-type: none"> • Salvaguardas e alertas insuficientes para atender a todos os cenários acidentais possíveis; • Despreparo dos funcionários, comunidade e autoridades para uma situação de emergência. 	2	sim	<ul style="list-style-type: none"> • Salvaguardas e alertas insuficientes para atender a todos os cenários acidentais possíveis. 	1	1

Fonte: Elaborada pelos autores.

TABELA 2 - PRINCIPAIS FALHAS DOS CASOS BHOPAL E TEXAS.

Elemento	Bhopal			Texas			Falhas semelhantes
	Falhou?	• Falhas:	n°	Falhou?	• Falhas:	n°	n°
Investigação de Acidentes e Incidentes	sim	<ul style="list-style-type: none"> • Não realização das investigações e/ou não execução de medidas corretivas; • Falta de atualização e análise periódica do banco de dados de incidentes. 	2	sim	<ul style="list-style-type: none"> • Não realização das investigações e/ou não execução de medidas corretivas; • Falta de atualização e análise periódica do banco de dados de incidentes. 	2	2
Indicadores e Monitoramento	sim	<ul style="list-style-type: none"> • Não utilização dos acidentes passados como indicadores reativos; • Não utilização de indicadores proativos. 	2	sim	<ul style="list-style-type: none"> • Não utilização dos acidentes passados como indicadores reativos; • Escolha incorreta de indicadores do escopo da segurança ocupacional. 	2	1
Auditorias	sim	<ul style="list-style-type: none"> • Demora ou não implantação das recomendações da auditoria; • A conformidade com as exigências normativas não era assegurada pelo elemento; • Recusa ao acatamento das recomendações da auditoria era realizada de maneira informal e sem embasamento em argumentos de segurança. 	3	sim	<ul style="list-style-type: none"> • Demora ou não implantação da recomendação da auditoria; • A conformidade com as exigências normativas não era assegurada pelo elemento. 	2	2
Avaliação da Gestão e Melhoria Contínua	sim	<ul style="list-style-type: none"> • Não há evidências de que eram realizadas revisões de gestão. 	1	sim	<ul style="list-style-type: none"> • Não foram implementadas as recomendações feitas pelas análises de gestão. 	1	0
Total			45			33	26

Fonte: Elaborada pelos autores.

10. Conclusão

O presente trabalho apresentou o contexto histórico e legislativo do surgimento dos sistemas de gestão de segurança de processos e utilizou uma das metodologias presentes na literatura, o RBPS, para analisar dois importantes acidentes da história: Bhopal em 1984 e Texas City em 2005. Apresentaram-se finalmente uma interpretação de aplicação das diretrizes RBPS e o comparativo entre os dois casos analisados.

Os estudos de caso proporcionaram resultados detalhados acerca das falhas que ocorreram em cada elemento RBPS envolvido no contexto de cada acidente. O resultado comparativo entre as análises revelou semelhanças, como por exemplo o elemento de cultura de segurança, que apresentou fraquezas. Dentre elas, destacamos a aceitação gradual de níveis decrescentes de desempenho, um estado de consciência limitado sobre vulnerabilidade, uma comunicação ineficiente e respostas demoradas às questões de segurança nos dois casos, de modo a comprovar o que a literatura (CCPS, 2007) afirma, isto é, que tais falhas são recorrentes em acidentes catastróficos.

Os resultados também evidenciaram que a indústria aprimorou sua abordagem de segurança de processos ao longo das décadas. Com isso, diminuiu o número de falhas e aumentou a estrutura de gestão no caso da refinaria da BP.

Acreditamos que a relevância do nosso trabalho está presente no tema central, a segurança de processos na indústria química, que possui imensurável importância para a indústria, para que ela produza bens para economia e para a sociedade sem abrir mão de preservar a vida e o bem-estar social. Abordar o tema em um trabalho de conclusão de curso de Engenharia é oportuno, dado que a profissão está intimamente ligada à indústria, e é sempre importante promover mais uma discussão sobre o assunto. Consideramos também que o presente trabalho foi de grande relevância para nossa formação acadêmica, pois nos proporcionou aprofundamento teórico no tema de segurança de processos, conhecimento de suma importância para o desempenho seguro da profissão.

O objetivo deste trabalho era contextualizar a criação dos sistemas de gerenciamento de segurança, aplicar uma das metodologias disponíveis na literatura e avaliar a evolução do tema segurança de processos nas organizações. A pesquisa nos conduziu a conclusões que não representam verdades absolutas, mas sim uma possibilidade de interpretação acerca de um tema tão extenso.

A história nos ensina que a prática é imensamente mais desafiadora do que a teoria. O início da história da segurança de processos é, de certa forma, recente; assim, a indústria e as organizações estão em constante processo de adaptação e aprimoramento na aplicação dos sistemas de gerenciamento de segurança de processos. A aplicação de tais diretrizes é, como foi dito, desafiadora e requer disciplina de toda a organização para que ocorra o monitoramento coletivo e guiado para a melhoria contínua. O papel das organizações, sejam empresas, governo, institutos e universidades, é promover o avanço da tecnologia, por meio da pesquisa e incorporação das lições

aprendidas com importantes eventos de segurança ocorridos na história, e incentivar a prática de metodologias ligadas a desenvolver o desempenho de segurança de processos na indústria.

A metodologia de gestão de segurança baseada em risco, proposta e publicada pela CCPS, que foi utilizada como instrumento em nossas análises, é um exemplo de avanço nos estudos e tecnologias disponíveis para gerenciar a segurança de processos em uma indústria. Entretanto, vale destacar que tecnologias devem sempre ser questionadas para que o processo de aprimoramento do conhecimento nunca cesse. Este trabalho apresentou pontos de discussão levantados por Monteiro (2020), que defende que recursos necessários devem ser investidos também em cenários de baixo risco, principalmente na prevenção de MAH, para que seja garantida a manutenção da baixa probabilidade de ocorrência de tais cenários. Ela recomenda a adoção integrada entre gestão baseada em risco, regras prescritivas e abordagens tradicionais de prevenção de acidentes maiores.

Finalmente, é importante também que as deficiências que os grandes acidentes evidenciaram, como mostrou este trabalho, sejam alvo de investimento por parte das empresas e de cobrança por parte de governos e sociedades.

11. Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Instrução Suplementar nº IS No 119-002, de 9 de novembro de 2012. Portaria no 2.404/SSO, de 8 de novembro de 2012, publicada no Diário Oficial da União de 9 de novembro de 2012, Seção 1, p. 3. Guia para elaboração de SGSO de empresa aérea , [S. l.], 19 nov. 2012. Disponível em:

https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-119-002/@@display-file/arquivo_norma/IS%20119-002D.pdf. Acesso em: 27 ago. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Regulamento Técnico nº Resolução ANP nº 43/2007, de 12 de dezembro de 2007. RESOLUÇÃO ANP Nº 43, DE 6.12.2007, DOU 7.12.2007- RETIFICADA DOU 10.12.2007 E DOU 12 DE DEZEMBRO DE 2007. REGULAMENTO TÉCNICO DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DA SEGURANÇA OPERACIONAL DAS INSTALAÇÕES MARÍTIMAS DE PERFURAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL , [S. l.]: ANP, 2007.

Disponível em:

http://www.anp.gov.br/images/Fiscalizacao/Fiscalizacao_Seguraca_Operacional/Gerenciamento-Seguranca-Operacional/Regulamento_SGSO.pdf. Acesso em: 25 ago. 2021.

AIChE. Don't forget about occupational safety!. Process Safety Beacon , [s. l.], march/2014 2014.

Disponível em: <https://www.AIChE.org/sites/default/files/2014-03-Beacon-English.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2021.

AIChE. What is "Process Safety"?. Process Safety Beacon , [s. l.], jul/2008 2008. Disponível em:

<https://www.AIChE.org/sites/default/files/cep/20080738.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Comitês Técnicos. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Comitês Técnicos. [S. l.], c2021b. Disponível em:

<http://www.abnt.org.br/normalizacao/comites-tecnicos>. Acesso em: 13 out. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Quem somos. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Quem somos. [S. l.], c2021a. Disponível em:

<http://www.abnt.org.br/institucional/sobre>. Acesso em: 13 out. 2021.

ATHERTON, John; GIL, Frederic. Incidents That Define Process Safety. In: ATHERTON, John; GIL, Frederic. Incidents That Define Process Safety. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008. cap. Management of Change, p. 202-207

AYRES, Robert U.; ROHATGI, Pradeep K. BHOPAL: LESSONS FOR TECHNOLOGICAL DECISION-MAKERS. Pergamon Journals Ltd, [s. l.], p. 19-45, 1987. Disponível em:

<http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/2922/1/RR-87-10.pdf>. Acesso em: 17 set. 2021.

BESSERMAN, Jennifer; MENTZER, Ray A. Review of global process safety regulations: United States, European Union, United Kingdom, China, India. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Indiana, p. 167-168, set/2017 2017. DOI 10.1016/j.jlp.2017.09.010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950423017305752>. Acesso em: 8 abr. 2021.

BHOPAL 84: o maior crime industrial da história. [S. l.]: Brasil de Fato, 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=xy2qOtr1q4>. Acesso em: 11 set. 2021.

BÔAS, Marcela Villa; TEMPLUM CONSULTORIA. ISO 45001: Conheça a ISO 45001 ponto a ponto. In: BÔAS, Marcela Villas; TEMPLUM CONSULTORIA. ISO 45001: Conheça a ISO 45001 ponto a ponto. [S. l.], c2021 2021. Disponível em: <https://certificacaoiso.com.br/iso-45001/>. Acesso em: 13 abr. 2021.

BOWONDER, B.; LINSTONE, H.A. Notes on the Bhopal Accident: Risk Analysis and Multiple Perspectives. *TECHNOLOGICAL FORECASTING AND SOCIAL CHANGE*, [s. l.], v. 32, p. 183-202, 1987. DOI 10.1016/0040-1625(87)90039-4. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0040162587900394>. Acesso em: 15 fev. 2022.

BP Texas City Explosion. Intérprete: Sheldon Smith. Roteiro: Sandy Gilmour e Dr Daniel Horowitz. [S. l.]: Sandy Gilmour Communications, 2008. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ti9YfdXqbjjs>. Acesso em: 29 out. 2021.

BP. Our History: Early history – 1909-1924. In: BP. Our History: Early history – 1909-1924. [S. l.], c2021b. Disponível em: <https://www.bp.com/en/global/corporate/who-we-are/our-history/early-history.html>. Acesso em: 1 nov. 2021.

BP. Our History: First oil – 1901-1908. In: BP. Our History: First oil – 1901-1908. [S. l.], c2021a. Disponível em: <https://www.bp.com/en/global/corporate/who-we-are/our-history/first-oil.html>. Acesso em: 1 nov. 2021.

BP. Our History: Late century – 1971-1999. In: BP. Our History: Late century – 1971-1999. [S. l.], c2021e. Disponível em: <https://www.bp.com/en/global/corporate/who-we-are/our-history/late-century.html>. Acesso em: 1 nov. 2021.

BP. Our History: Post-war – 1946-1970. In: BP. Our History: Post-war – 1946-1970. [S. l.], c2021d. Disponível em: <https://www.bp.com/en/global/corporate/who-we-are/our-history/post-war.html>. Acesso em: 1 nov. 2021.

BP. Our History: The new millennium – 2000-2012. In: BP. Our History: The new millennium – 2000-2012. [S. l.], c2021f. Disponível em: <https://www.bp.com/en/global/corporate/who-we-are/our-history/the-new-millennium.html>. Acesso em: 1 nov. 2021.

BP. Our History: Through World War II – 1925-1945. In: BP. Our History: Through World War II – 1925-1945. [S. l.], c2021c. Disponível em:
<https://www.bp.com/en/global/corporate/who-we-are/our-history/through-world-war-two.html>. Acesso em: 1 nov. 2021.

BROADRIBB, Michael P. Lessons from Texas City A Case History. Institution of Chemical Engineers (IChem): LOSS PREVENTION BULLETIN, [s. l.], v. 192, p. 3-12, 2006. Disponível em:
<https://www.icheme.org/media/4611/lpb192pg3-12.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2021.

BROUGHTON, Edward. The Bhopal disaster and its aftermath: a review. Biomed Central, [s. l.], p. 1-6, 2005. DOI 10.1186/1476-069X-4-6. Disponível em:

<https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-069X-4-6>. Acesso em: 11 set. 2021.

BROWNING, Jackson B. UNION CARBIDE: DISASTER AT BHOPAL. Union Carbide Corporation, [s. l.], p. 1-15, 1993. Disponível em: <http://indiaenvironmentportal.org.in/files/report-1.pdf>. Acesso em: 12 set. 2021.

CAMERON, Don; STAY SAFE (United Kingdom). History of Workplace Health and Safety. In: CAMERON, Don; STAY SAFE. History of Workplace Health and Safety. United Kingdom, c2021. Disponível em:
<https://staysafeapp.com/blog/2020/08/21/history-workplace-health-and-safety/#:~:text=Health%20and%20Safety%20at%20Work%20Act%201974&text=It%20wasn't%20until%201974,legislation%20across%20the%20world%20today>. Acesso em: 10 mar. 2021.

CCPS (EUA). Indicadores de Segurança de Processo: Guia de Seleção de Indicadores Proativos e Reativos. [S. l.]: RSE CONSULTORIA, 2019. 71 p. Disponível em:
https://www.AIChE.org/sites/default/files/docs/pages/ccps_process_safety_metrics_-_v3.1_-_pt_final.pdf. Acesso em: 7 set. 2021.

CCPS (EUA). Risked Based Process Safety Overview. In: CCPS (EUA). Risked Based Process Safety Overview. New York: AIChE, 2014. Disponível em:
https://www.AIChE.org/sites/default/files/docs/embedded-pdf/risk_based_process_safety_overview.pdf. Acesso em: 19 abr. 2021.

CCPS. (2014). Risked Based Process Safety Overview. AIChE.org Disponível em:
<https://www.AIChE.org/ccps/resources/publications/books/guidelines-risk-based-process-safetyccps/documents/overview>. Acesso em: fev. 2021

CCPS.(2007). Diretrizes para Segurança de Processo Baseada em Risco. Editora Interciência, 2007.

CHEMELLO, Emiliano. Desastre em Bhopal: Acidentes Explicados pela Ciência. Química Virtua, [s. l.], set/2010 2010. Disponível em: <http://www.quimica.net/emiliano/artigos/2010setembro-bhopal.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2021.

Dhara, V. R., & Gassert, T. H. (2002). The Bhopal Syndrome: Persistent Questions about Acute Toxicity and Management of Gas Victims. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, p.380–386, 2002. DOI:10.1179/107735202800338731. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12412857/>. Acesso em: 20 set. 2021.

EPSC. Process Safety Competence: How to Set up a Process Safety Competence Management System. [S. l.]: EPSC, 2013. 57 p. Disponível em: https://epsc.be/Documents/Reports/EPSC+Reports+Available/_/ReportNo35.pdf. Acesso em: 7 set. 2021.

ESTRADA, J, A. (2008). Aspectos da Gestão da Mudança na implementação de um Sistema de Gestão SMS: Um estudo de caso. Disponível em: <https://livros01.livrosgratis.com.br/cp091382.pdf>. Acesso em: fev. 2021

EUROPEAN COMMISSION. Major Accident Hazards: The Seveso Directive - Technological Disaster Risk Reduction. In: EUROPEAN COMMISSION. Major Accident Hazards: The Seveso Directive - Technological Disaster Risk Reduction. [S. l.], []. Disponível em: <https://ec.europa.eu/environment/seveso/>. Acesso em: 23 ago. 2021

FABIANO , B.; VIANELLO, C.; REVERBERI, A.P.; LUNGHI, E.; MASCHIO, G. A perspective on Seveso accident based on cause-consequences analysis by three different methods. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, [s. l.], p. 1-18, 2017. DOI 10.1016/j.jlp.2017.01.021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jlp.2017.01.021>. Acesso em: 25 mar. 2021.

FERRUCIO, Bianca. Avaliação de Melanócitos humanos expostos ao inseticida carbaril e à radiação solar em cultura. Orientador: Dra. Silvia Berlanga de Moraes Barros. 2015. 156 p. Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/9/9141/tde-28052015-085252/publico/Bianca_Ferrucio_DO_original.pdf. Acesso em: 13 set. 2021.

FREITAS; PORTO; MACHADO, 2000. FREITAS, Carlos Machado; PORTO, Marcelo Firpo de Souza; MACHADO, Jorge Mesquita Huet. Acidentes industriais ampliados: Desafios e perspectivas para o controle e a prevenção. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2000. 312 p. DOI 10.747/9788575415085. Disponível em: <http://books.scielo.org/id/jn8dd/pdf/freitas-9788575415085.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2021.

GOVERNO DO BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC): Idealização e evolução do Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO). In: GOVERNO DO BRASIL. Agência Nacional de

Aviação Civil (ANAC): Idealização e evolução do Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO). [S. I.], 12 mar. 2016. Disponível em:
<https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/seguranca-operacional/sgso/idealizacao-e-evolucao-do-sgso>.
Acesso em: 26 ago. 2021.

GOVERNO DO BRASIL. Gerenciamento de Segurança Operacional (SGSO). In: GOVERNO DO BRASIL. Gerenciamento de Segurança Operacional (SGSO). [S. I.], 13 jul. 2020. Disponível em:
<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/gerenciamento-de-seguranca-operacional-sgso>. Acesso em: 25 ago. 2021.

HSE. MAJOR INCIDENT INVESTIGATION REPORT: BP GRANGEMOUTH SCOTLAND 29th MAY -10th JUNE 2000. In: HSE. MAJOR INCIDENT INVESTIGATION REPORT: BP GRANGEMOUTH SCOTLAND 29th MAY -10th JUNE 2000. [S. I.], 18 ago. 2003. Disponível em:
<https://www.hse.gov.uk/comah/bpgrange/bprgrangemouth.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2021.

INDIA ENVIRONMENT PORTAL. Bhopal Gas Disaster. In: INDIA ENVIRONMENT PORTAL. Bhopal Gas Disaster. [S. I.], [s.d]. Disponível em:
<http://www.indiaenvironmentportal.org.in/media/iep/infographics/Bhopal%20Gas%20Disaster/index.htm>.
Acesso em: 20 set. 2021.

INMETRO. Definições de Regulamento Técnico, Norma e Procedimento de Avaliação da Conformidade. In: INMETRO. Definições de Regulamento Técnico, Norma e Procedimento de Avaliação da Conformidade. [S. I.], c1993-2012 2012. Disponível em:
<http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/definicoes.asp>. Acesso em: 13 abr. 2021.

Kalantarnia, M., Khan, F., & Hawboldt, K. (2010). Modelling of BP Texas City refinery accident using dynamic risk assessment approach. *Process Safety and Environmental Protection*, 88(3), 191–199.
doi:10.1016/j.psep.2010.01.004

LEES, Frank P. Lee's loss prevention in the process industries. In: LEES, Frank P. Lee's Loss Prevention in The Process Industries. 3. ed. rev. [S. I.]: Elsevier Inc., 2005. v. 1, cap. Appendix 1, p. 2617-2618. ISBN 0-7506-7589-3.

LIMA FILHO, Fernando José Correa. O novo COSCIP – Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico, do CBMERJ, e sua importância para Engenharia de Segurança. *Angulos - A revista do CREA RIO*, [s. I.], 18 ago. 2021. Disponível em:
<https://angulos.crea-rj.org.br/o-novo-coscip-codigo-de-seguranca-contra-incendio-e-panico-do-cbmerj-e-sua-importancia-para-engenharia-de-seguranca/>. Acesso em: 13 out. 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE DA FRANÇA (França). BARPI. BLEVE in an LPG storage Facility at a refinery. ARIA, [s. l.], ed. 1, 2008. Disponível em: https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/files_mf/A1_ips00001_003.pdf. Acesso em: 1 abr. 2021.

MONTEIRO, Gilsa Pacheco. AN ANALYSIS OF ORGANIZATIONAL FACTORS AND REGULATORY CAPTURE - LESSONS FROM THE DAVIS-BESSE REACTOR VESSEL DEGRADATION INCIDENT. Orientador: Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo. 2020. 148 p. Tese (Doutorado em Engenharia Nuclear) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, [S. l.], 2020. Disponível em: <file:///C:/Users/Usuario/Desktop/Tese-Gilsa-Monteiro.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2021

OIT (Brasília). Organização Internacional do Trabalho. História da OIT. In: OIT (Brasília). Organização Internacional do Trabalho. História da OIT. [S. l.], []. Disponível em: <https://www.ilo.org/brasil/brasil/conheca-a-oit/hist%C3%B3ria/lang--pt/index.htm>. Acesso em: 13 mar. 2021.

OSHA (EUA). OSHA Celebrates 40 years of accomplishments in the Workplace. In: OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION (EUA). OSHA Celebrates 40 years of accomplishments in the Workplace. [S. l.], 2010. Disponível em: <https://www.osha.gov/osha40/OSHATimeline.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021

PETERSON, MJ. Bhopal Plant Disaster: Appendix A: Chronology. International Dimensions of Ethics Education in Science and Engineering - Case Study Series, [s. l.], p. 1-19, 2009. Disponível em: https://www.umass.edu/sts/pdfs/Bhopal_AChrono.pdf. Acesso em: 15 set. 2021.

ROCHA, Edson; COSTA, Maria Carolina Maggiotti; GODIN, Maria Dorotéa. Acidentes Ampliados à Luz da “Diretiva Seveso” e da Convenção nº 174 da Organização Internacional do Trabalho – OIT. INTERFACEHS, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 1-22, 2006. Disponível em: <http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2013/07/2006-v2-inter-2.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2021.

SCHREIBER, Sanford. Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety: Plant/ Operations Progress. 2. ed. New York: CCPS, abr/1991 1991. 4 p. v. 10. DOI 10.1002/prsb.720100204. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/prsb.720100204>. Acesso em: 8 abr. 2021.

SST SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO (MG). Normas CLT e a segurança do trabalho. In: SST SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO (MG). Normas CLT e a segurança do trabalho. [S. l.], 5 dez. 2014. Disponível em: <https://blog.sst.com.br/normas-clt-e-seguranca-trabalho/>. Acesso em: 13 out. 2021.

T-RISK. Termos e Definições. In: T-RISK. Termos e Definições. [S. l.], c2020. Disponível em: https://totalrisk.com.br/pt_BR/termos-e-definicoes#:~:text=Risco%20residual%3A%20Um%20risco%20n%C3%A3o,pela%20organiza%C3%A7%C3%A3o%2C%20pressup%C3%B5e%20riscos%20residuais. Acesso em: 17 maio 2021.

THE BHOPAL MEDICAL APPEAL. Basic Facts & Figures, Numbers of Dead and Injured, Bhopal Disaster. In: THE BHOPAL MEDICAL APPEAL. Basic Facts & Figures, Numbers of Dead and Injured, Bhopal Disaster. [S. l.], c2021. Disponível em: <https://www.bhopal.org/continuing-disaster/the-bhopal-gas-disaster/union-carbides-disaster/basic-facts-figures-numbers-of-dead-and-injured-bhopal-disaster/>. Acesso em: 19 set. 2021.

THE NEWSWIRE. Why Was Phosgene Used in UCIL Plant?: MP CM. THE NEWSWIRE, [S. l.], p. 1, 16 jul. 2010. Disponível em: <https://www.outlookindia.com/newswire/story/why-was-phosgene-used-in-ucil-plant-mp-cm/688557>. Acesso em: 13 set. 2021.

TROTTER, R. Clayton; DAY, Susan G.; LOVE, Amy E. Bhopal, India and Union Carbide: The Second Tragedy. *Journal of Business Ethics* 8, [s. l.], p. 439-454, 1989. DOI 10.1007/BF00381810. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00381810>. Acesso em: 11 set. 2021.

UK PARLIAMENT (United Kingdom). Early factory legislation. In: UK PARLIAMENT (United Kingdom). Early factory legislation. United Kingdom, c2021. Disponível em: <https://www.parliament.uk/about/living-heritage/transformingsociety/livinglearning/19thcentury/overview/earlyfactorylegislation/>. Acesso em: 10 mar. 2021.

UK PARLIAMENT (United Kingdom). Later factory legislation. In: UK PARLIAMENT (United Kingdom). Later factory legislation. [S. l.], c2021. Disponível em: <https://www.parliament.uk/about/living-heritage/transformingsociety/livinglearning/19thcentury/overview/latfactoryleg/>. Acesso em: 13 mar. 2021.

UK PARLIAMENT (United Kingdom). The 1833 Factory Act. In: UK PARLIAMENT (United Kingdom). The 1833 Factory Act. [S. l.], c2021. Disponível em: <https://www.parliament.uk/about/living-heritage/transformingsociety/livinglearning/19thcentury/overview/factoryact/>. Acesso em: 12 mar. 2021.

UNION CARBIDE CORPORATION. Bhopal Gas Tragedy Information. In: UNION CARBIDE CORPORATION. Bhopal Gas Tragedy Information.[S. l.], c2020c. Disponível em:<https://www.bhopal.com/index.html>. Acesso em: 20 set. 2021.

UNION CARBIDE CORPORATION. Bhopal Plant History and Ownership. In: UNION CARBIDE CORPORATION. Bhopal Plant History and Ownership. [S. l.], c2020b. Disponível em: <https://www.bhopal.com/bhopal-plant-history-ownership.html>. Acesso em: 12 set. 2021.

UNION CARBIDE CORPORATION. History of Union Carbide India Limited. In: UNION CARBIDE CORPORATION. History of Union Carbide India Limited. [S. l.], c2020a. Disponível em: <https://www.bhopal.com/uc-india-limited-history.html>. Acesso em: 10 set. 2021.

UNION CARBIDE CORPORATION. Remediation (Clean Up) of the Bhopal Plant Site. In: UNION CARBIDE CORPORATION. Remediation (Clean Up) of the Bhopal Plant Site. [S. l.], c2020d. Disponível em: <https://www.bhopal.com/bhopal-plant-site-remediation.html>. Acesso em: 21 set. 2021.

VARMA, Roli; VARMA, Daya R. The Bhopal Disaster of 1984. *Bulletin of Science, Technology & Society*, [s. l.], v. 25, ed. 1, fev/2005 2005. DOI 10.1177/0270467604273822. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0270467604273822>. Acesso em: 5 abr. 2021.

VELTRI, Leonardo Raul Pereira. O Acidente de Bhopal – Discussão do evento iniciador no contexto do RBPS. Orientador: Carlos André Vaz Junior. 2020. 90 p. Tese (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/13476/1/LRPVeltri.pdf>. Acesso em: 15 set. 2021.