



**Análise de Eventos de Liberação de Gases em
uma Planta Química com Base nas Diretrizes do
*Risk Based Process Safety***

Tomás Gonzaga Moreira de Sá Campello Faveret

Projeto de Final de Curso

Orientadores:

Carlos André Vaz Júnior, D. Sc.

Marina Heil de Assunção, B. Sc.

Rio de Janeiro

24 de setembro de 2021

ANÁLISE DE EVENTOS DE LIBERAÇÃO DE GASES EM UMA PLANTA QUÍMICA COM BASE NAS DIRETRIZES DO *RISK BASED PROCESS SAFETY*

Tomás Gonzaga Moreira de Sá Campello Faveret

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:

Simone Louise Delarue C. Brasil, D. Sc.

Natalia Ornellas Lobo Rodrigues, M. Sc.

Orientado por:

Carlos André Vaz Júnior, D. Sc.

Marina Heil de Assunção, B. Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

24 de setembro de 2021

Faveret, Tomás G. M. S. C.

Análise de Eventos de Liberação de Gases em uma Planta Química com Base nas Diretrizes do *Risk Based Process Safety* / Tomás Gonzaga Moreira de Sá Campello Faveret. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2021.

xi, 65 p.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2021.

Orientadores: Carlos André Vaz Júnior e Marina Heil de Assunção.

1. Segurança de Processos. 2. Acidente. 3. Gases Tóxicos. 4. DuPont 5. RBPS 6. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 7. Carlos André Vaz Júnior, Marina Heil. I. Estudo de caso do acidente de liberação de gases tóxicos da planta de Belle, WV, da DuPont com base no RBPS.

Agradecimentos

Agradeço a todos que estiveram presente durante a minha jornada na UFRJ. Aos meus pais e irmãos, agradeço pelo apoio, interesse e incentivo pela minha formação e desenvolvimento pessoal. A minha educação e os valores que recebi desde pequeno foram essenciais para me tornar quem eu sou hoje.

Aos meus professores de faculdade, que se empenham na tarefa de formar profissionais competentes, obrigado. Agradeço também ao Carlos André Vaz Júnior e à Marina Heil de Assunção, meus orientadores, pela disponibilidade e orientação desse trabalho ao longo do último ano.

A todos amigos do CSI, por tanto tempo de amizade, conversas, discussões, saídas, partidas de futebol, companheirismo e tudo mais que ajuda a tornar a vida mais leve, muito obrigado.

A todos amigos da EQ, Fluxo e toda UFRJ, agradeço a amizade, ajuda, distrações, festas, almoços e todo o resto ao longo dessa jornada. Ela seria muito mais árdua sem vocês. Um agradecimento especial à Ligia, minha namorada, pelo companheirismo, carinho e apoio na maior parte da minha formação acadêmica.

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

ANÁLISE DE EVENTOS DE LIBERAÇÃO DE GASES EM UMA PLANTA QUÍMICA COM BASE NAS DIRETRIZES DO *RISK BASED PROCESS SAFETY*

Tomás Gonzaga Moreira de Sá Campello Faveret

Setembro, 2021

Orientadores: Prof. Carlos André Vaz Júnior, D.Sc.

Marina Heil de Assunção, B.Sc.

Ao longo dos últimos séculos, a indústria química desenvolveu processos cada vez maiores e mais complexos. Com esse aumento da complexidade, surgiu a necessidade de sistemas de gerenciamento da segurança mais robustos, com o objetivo de prevenir acidentes e mitigar os seus efeitos. Após acidentes de grande proporção em Bhopal e na Cidade do México, em 1984, a *American Institute of Chemical Engineering* (AIChE) criou o *Center for Chemical Process Safety* (CCPS) focado em segurança em plantas químicas. Em 2007, o CCPS publicou o *Risk Based Process Safety* (RBPS), livro com diretrizes para elaboração de um sistema de gerenciamento de segurança baseado em riscos, com o intuito de otimizar os recursos de uma companhia alocados em segurança de processos. Esse trabalho tem como intuito analisar três acidentes ocorridos em uma planta da DuPont em Belle, WV durante os dias 22 e 23/01/2010, com base nas diretrizes do RBPS. Foram três liberações de gases tóxicos, sendo o primeiro de cloreto de metila, o segundo de oleum e o terceiro de fosgênio. O último acidente foi fatal, matando um funcionário que foi atingido no rosto pela substância. Com a análise do relatório de investigação gerado pela *U.S. Chemical Safety Board*, foram constatados diversos desvios do sistema de gerenciamento de segurança da planta de Belle em relação às diretrizes estabelecidas pela CCPS. As principais falhas foram em relação aos elementos “Investigação de Acidentes e Incidentes” e “Auditorias” do RBPS, pois a DuPont já havia identificado os problemas que viriam a causar os acidentes em investigações e auditorias anteriores, mas falhou em endereçá-los a tempo de preveni-los.

ÍNDICE

1. Introdução.....	1
1.1. Bophal	2
1.2. História da E.I. DuPont de Nemours & Co., Inc	5
1.2.1. Segurança e DuPont.....	6
1.2.2. Os Eventos	7
1.3. Objetivo.....	8
1.4. Estrutura	8
2. Vazamento de Cloreto de Metila.....	9
2.1. Velpar®.....	11
2.2. Cloreto de Metila.....	11
2.3. Tubulação de Ventilação	11
2.4. Alarme do Disco de Ruptura.....	12
3. Vazamento de Oleum	14
3.1. Oleum	14
3.2. O Acidente.....	15
3.3. Resposta ao Acidente	16
3.4. EPI.....	16
3.5. Acidente Anterior.....	17
4. Vazamento de Fosgênio	18
4.1. Fosgênio	19
4.2. Resposta ao Acidente	19
4.3. Galpão de Armazenamento de Fosgênio.....	20
4.4. Mangueira de Fosgênio	21
4.5. Troca das Mangueiras	23
4.6. Procedimentos Não Previstos.....	24
4.7. Alarmes nas Instalações	25
5. Análise dos Acidentes com Base no RBPS.....	26
5.1. O Documento RPBS.....	26
5.2. Primeiro Bloco – Se Comprometer com a Segurança de Processos	28
5.2.1. Cultura de Segurança de Processos.....	29
5.2.2. Conformidade com Padrões.....	31
5.2.3. Competência em Segurança de Processo.....	32

5.2.4.	Envolvimento da Força de Trabalho.....	33
5.2.5.	Relação com Stakeholders	34
5.3.	Segundo Bloco – Entender Perigos e Riscos	35
5.3.1.	Gestão de Conhecimento de Processos.....	35
5.3.2.	Identificação de Perigos e Análise de Risco	36
5.4.	Terceiro Bloco – Gerenciar Riscos	40
5.4.1.	Procedimentos Operacionais.....	40
5.4.2.	Práticas de Trabalho Seguro	43
5.4.3.	Integridade de Ativos e Confiabilidade	43
5.4.4.	Gestão de Terceirizados.....	45
5.4.5.	Treinamento e Garantia de Desempenho.....	46
5.4.6.	Gerenciamento de Mudanças.....	48
5.4.7.	Prontidão Operacional	49
5.4.8.	Condução das Operações.....	50
5.4.9.	Gerenciamento de Emergências.....	51
5.5.	Quarto Bloco – Aprender com a Experiência	53
5.5.1.	Investigação de Acidentes e Incidentes	53
5.5.2.	Métricas e Indicadores	54
5.5.3.	Auditorias.....	55
5.5.4.	Revisão do Gerenciamento e Melhoria Contínua	57
6.	Conclusão	59
7.	Referências	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Desastre de San Juanico	2
Figura 2 - Acidente de Bhopal.....	3
Figura 3 - Rota Reacional de Produção do Pesticida Sevin	4
Figura 4 - Planta da Chemours (Antiga Planta da DuPont) em Belle, WV.....	7
Figura 5 - Diagrama de Blocos Simplificado do Sistema de Segurança.....	9
Figura 6 - Weep Hole	10
Figura 7 - Heat Tracing	15
Figura 8 - Galpão de Armazenamento de Fosgênio	20
Figura 9 - Etiquetagem das Mangueiras de Fosgênio	23
Figura 10 - Exemplo de Curva F-N.....	38
Figura 11 - Matriz Tridimensional de Treinamento	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estrutura do RBPS	28
Tabela 2 - Categorias de Severidade de uma APP	37
Tabela 3 - Modelo de Tabela para APP	37
Tabela 4 - Análise de Risco Feita pela DuPont	39

Lista de Abreviaturas e Siglas

AEGL	<i>Acute Emergency Guideline Level</i>
AEL	<i>Acceptable Exposure Limit</i>
AIChE	<i>American Institute of Chemical Engineers</i>
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APP	Análise Preliminar de Perigo
ASM	<i>American Society for Metals</i>
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
AQR	Análise Quantitativa de Risco
CCPS	<i>Center for Chemical Process Safety</i>
CSB	<i>U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board</i>
DuPont	<i>E.I. DuPont de Nemours & Co., Inc</i>
EPA	<i>U.S. Environmental Protection Agency</i>
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FISPQ	Ficha de Informação de Segurança dos Produtos Químicos
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
IPVS	Imediatamente Perigoso para a Vida e Saúde
ITPM	Inspeções, Testes e Manutenção Preventiva
Kg	Quilograma
m ³	Metro Cúbico
mg	Miligrama
MIC	Metil Isocianato
MOC	<i>Management of Change</i>

NIOSH	<i>National Institute for Occupational Safety and Health</i>
OSHA	<i>Occupational Safety and Health Administration</i>
PEL	<i>Permissible Exposure Limit</i>
ppm	Parte por milhão
PSM	<i>Process Safety Management</i>
PTFE	Politetrafluoretileno
RBPS	<i>Risk Based Process Safety</i>
SAR	<i>Spent Acid Recovery</i>
SGSO	Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional
SLM	<i>Small Lots Manufacturing</i>
TWA	<i>Time weighted average</i>
WV	<i>West Virginia</i>

1. Introdução

Atualmente, o gerenciamento da segurança é um grande foco da indústria química pelo mundo. Ele é importantíssimo para a redução dos riscos presentes nos processos químicos, e ajuda empresas a buscarem sempre uma melhoria contínua das suas atividades. Aliado a um planejamento e uma alocação eficiente de recursos, um sistema de gerenciamento é capaz de aprimorar, inclusive, a performance de uma organização.

Um grande foco de sistemas de gestão atuais é entender riscos e prevenir acidentes antes mesmo que eles aconteçam. Mas isso nem sempre foi assim. Nos séculos passados, muitas das medidas aplicadas pareciam ser reativas, apenas após o acontecimento de alguns acidentes. Ao longo do século 19, por exemplo, acidentes envolvendo caldeiras eram comuns, como a explosão do barco a vapor *Sultana*, em 27 de abril de 1865, em que morreram entre 1200 e 1500 pessoas. Apenas após essa tragédia que foi publicado o primeiro padrão para caldeiras a vapor, em 1880, quando foi fundada a *American Society of Mechanical Engineers* (ASME). (HENDERSHOT, 2009)

Na indústria química não é diferente. Nos Estados Unidos, uma série de acidentes em plantas de produção de amônia e separação de ar, por exemplo, foi o que levou à organização de um simpósio sobre Segurança nessa indústria em 1957 pela *American Institute of Chemical Engineers* (AIChE), que acabou se tornando um evento anual. Um outro exemplo foi em 1866, quando um químico britânico, James Howden, aplicou o princípio de segurança de minimizar o transporte de materiais perigosos na construção da *Central Pacific Railroad*, ferrovia no oeste dos Estados Unidos. O projeto utilizava nitroglicerina, um explosivo, para facilitar a construção em terrenos montanhosos. A substância era importada até o local, mas uma série de explosões ocorridas em 1866 levaram ao banimento do transporte dessa substância no estado da Califórnia. Dessa maneira, James Howden introduziu a produção de nitroglicerina nos locais de construção, o que possibilitou a continuação do projeto de uma forma segura. (HENDERSHOT, 2009)

Ao longo do tempo, os processos químicos foram se tornando cada vez mais complexos, e as empresas químicas cada vez maiores. Com o aumento do tamanho

e complexidade das indústrias, também aumentou a gravidade dos acidentes. Durante o século 20 tivemos alguns exemplos, como em Flixborough na Inglaterra em 1974, Seveso na Itália em 1976, Bhopal na Índia em 1984, Cidade do México em 1984 e Sandoz na Suíça em 1986, que foram característicos por extrapolar as divisas da fábrica, e terem efeitos de médio e longo prazo nas populações e meio ambiente. (Estrada, 2008)

O acidente da Cidade México, por exemplo, foi a maior catástrofe em uma planta de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) da História. Se deu em uma unidade de armazenamento e distribuição pertencida à *Pemex State Oil Company*, localizada em *San Juan Ixhuatepec*, um município da região metropolitana da Cidade do México. Havia seis esferas de armazenamento de GLP e outros tanques cilíndricos, e um vazamento da substância causou a formação de uma nuvem inflamável. Ao entrar em contato com uma chama, a nuvem causou um incêndio, e diversas explosões, inclusive de uma ou mais esferas, como visto na Figura 1. Estima-se que morreram aproximadamente 550 pessoas, mais de 2000 foram hospitalizadas, e mais de 7000 necessitaram de atendimento médico. (ARTUSON, 1987)

Figura 1 – Desastre de San Juanico



Fonte: San Juanico, 1984

1.1. Bophal

O acidente de Bhopal, mencionado anteriormente, é considerado o pior desastre da indústria química da história. Ocorreu em uma planta de produção de

pesticidas, que pertencia à *Union Carbide India Limited*. Uma nuvem tóxica de metil isocianato (MIC), fosgênio e outras substâncias envolveu as proximidades da planta, matando mais de 3800 pessoas, e mais aproximadamente 11000 ficaram com deficiências (BROWNING, 1993). Uma foto aérea da planta química é representada na Figura 2.

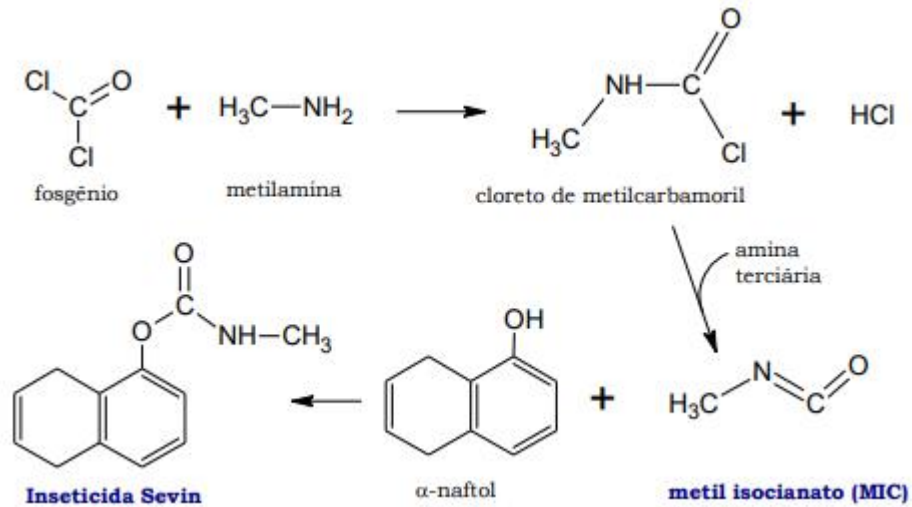
Figura 2 - Acidente de Bhopal



Fonte: Krishnan, 2014

A unidade da *Union Carbide* em que ocorreu o acidente era responsável pela produção do inseticida Sevin. A reação utilizada para a produção desse composto envolvia dois reagentes, o MIC e o α -naftol. O MIC, por sua vez, era sintetizado a partir de fosgênio e metilamina. Na fábrica em questão, o MIC era armazenado em grandes quantidades, enquanto o fosgênio era armazenado apenas em quantidades suficientes para períodos curtos de produção. Ambas as substâncias são altamente tóxicas (CHEMELLO, 2010). A rota reacional do inseticida está representada na Figura 3.

Figura 3 - Rota Reacional de Produção do Pesticida Sevin



Fonte: Chemello, 2010

O motivo da liberação do gás é tema de discussão até hoje. De acordo com Browning (1993), “o gás foi liberado quando um funcionário insatisfeito, que visava, provavelmente, estragar uma batelada do Metil Isocianato, adicionando água em um tanque de armazenagem”. A reação com a água fez com que acumulasse pressão e calor no tanque, vaporizando o MIC, causando o desastre. Tal versão foi criada pela própria empresa. Bowonder (1987) descreve outra teoria, de que a água teria chegado ao tanque depois de uma lavagem inadequada, em que a tubulação do processo que conduzia ao tanque não teria sido propriamente isolada antes do início do procedimento.

O *Center for Chemical Process Safety* (CCPS) foi criado pela AIChE exatamente após acidentes de grande proporção como os ocorridos na Cidade do México e em Bhopal. Durante muitos anos, as empresas focavam em melhorar a tecnologia e fatores humanos para prevenção de acidentes. Depois desses acidentes na década de 80, constatou-se que grande parte dos problemas estavam nos sistemas de gerenciamento de segurança de processos, ou na falta deles. A partir daí, houve um esforço de empresas, grupos de indústrias e governos, cada um com suas atribuições, para centralizar esforços de segurança em sistemas de gerenciamento, focando em medidas proativas de prevenção de acidentes, e não somente reativas. (CCPS, 2014)

Uma empresa que sempre teve grande foco na segurança dos seus processos é a DuPont. Isso se deve, em parte, por estar envolvida com a manufatura de produtos perigosos desde sua fundação, quando começou como uma fábrica de pólvora. O primeiro programa corporativo de segurança surgiu em 1805, dois anos depois da empresa ser fundada, e mesmo antes de existirem regulações do governo. Em 1915, foi criada a primeira divisão corporativa focada nessa questão. Outro exemplo disso, é a existência do programa corporativo de Gerenciamento de Riscos do Processo, desde 1965, antes mesmo da existência do CCPS. (CSB, 2011)

1.2. História da E.I. DuPont de Nemours & Co., Inc

A E.I. DuPont de Nemours (DuPont) é uma multinacional presente em diversos ramos da indústria, inclusive química. A empresa foi fundada em 1802 por Eleuthère Irénée du Pont, um químico e industrial Frances. Seu pai, Pierre du Pont, era um famoso economista e oficial do governo, e amigo de Antoine-Laurent Lavoisier, considerado “Pai” da química moderna. Essa conexão levou o seu filho, E.I. du Pont, a ser contratado por Lavoisier para trabalhar na fábrica de pólvora de Essonne, cidade francesa. (SCIENCE HISTORY INSTITUTE, 2020)

A família du Pont, por suas visões moderadas e conexões com o Rei da França, sofreu ataques durante a revolução francesa, período decorrente entre 1789 e 1799. Pressionados, eles fugiram para os Estados Unidos da América em exílio, no ano de 1799. Devido a sua experiência prévia, e percebendo a falta de qualidade da indústria nos Estados Unidos, E.I. du Pont estabeleceu uma fábrica de pólvora às margens do rio Brandywine, em Wilmington, Delaware. Apesar de um início difícil, a empresa cresceu e se tornou a gigante que é hoje. No ano de morte de E.I du Pont, em 1834, produziu mais de 450 toneladas de pólvora. (SCIENCE HISTORY INSTITUTE, 2020)

Com mais de 200 anos de história, a DuPont passou por diversas transformações. Durante o século de 1900, a empresa expandiu para as indústrias têxtil, plásticos, tintas e revestimentos, e outros químicos. Chegou a ter papel importante no *Manhattan Project*, – programa de pesquisas que iniciou o desenvolvimento da bomba atômica nos Estados Unidos – na construção e operação da planta de produção de plutônio. Em 2015, a *The Chemours Company* (Chemours) foi criada a partir de um *spin off* – cisão de uma empresa a partir de uma empresa

mãe – da divisão de químicos de desempenho da DuPont. A planta de Belle, Virgínia Ocidental, local onde ocorreu o evento objeto de estudo desse trabalho, atualmente é controlada pela Chemours. (DUPONT, 2020-a)

Também em 2015, a empresa fez uma fusão com a Dow Chemical, outra gigante da Indústria Química. A fusão, porém, não durou muito, e a DuPont se separou, tornando-se independente de novo em 2019. Atualmente a empresa é focada em três linhas de negócios: (i) Eletrônica e Industrial; (ii) Mobilidade e Materiais; (iii) Água e Proteção. Ainda é uma gigante da indústria química, empregando mais de 23 mil pessoas em mais de 40 países (DUPONT, 2020-a, 2020-b, 2020-c). De acordo com Tullo (2021), em 2020 a DuPont foi a 14ª maior empresa química do mundo em relação a suas vendas, com um faturamento de 20,4 bilhões de dólares no ano.

1.2.1. Segurança e DuPont

Como dito anteriormente, a DuPont é reconhecida por sua preocupação com a segurança de processos. Mesmo assim, isso não impede que acidentes ocorram. Na última década, a *U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board* (CSB) investigou três eventos que ocorreram em unidades da empresa, sendo os três fatais. (i) O primeiro foi na verdade uma série de eventos ocorridos entre os dias 22 e 23/01/2010, quando três acidentes com liberação de gases tóxicos ocorreram na planta de Belle, WV, em um período de 33 horas, e tiveram uma fatalidade (CSB, 2011). (ii) O segundo ocorreu no dia 09/11/2010 na planta de Buffalo, NY, onde uma explosão de um tanque de lama matou um trabalhador terceirizado (CSB, 2012). (iii) O terceiro foi no dia 15/11/2014, quando um vazamento de um gás tóxico matou 4 funcionários em uma planta de pesticida em La Porte, TX (CSB, 2019). Com o seu histórico de segurança, é surpreendente o fato de a DuPont ter se envolvido em diversos acidentes em um período tão curto.

Depois do último acidente, em La Porte, a DuPont sofreu sérias consequências. A *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), do Departamento de Trabalho dos Estados Unidos, propôs uma pena de 273 mil dólares, além de colocar a companhia no “*Severe Violator Enforcement Program*”. Tal programa tem como foco

inspecionar funcionários negligentes em relação a segurança no ambiente de trabalho e inspecionar a planta para garantir o cumprimento de leis do trabalho. (OSHA, 2015)

1.2.2. Os Eventos

Esse trabalho irá abordar os eventos do dia 23/01/2010 mencionados no item anterior. A planta em questão está localizada a beira do rio Kanawha, na cidade de Belle, no estado da Virginia Ocidental nos Estados Unidos, como visto na Figura 4. Ela existe desde a década de 1920, sendo inicialmente uma unidade produtora de amônia. O controle atualmente é da Chemours, empresa originada a partir de uma cisão com a DuPont.

Figura 4 - Planta da Chemours (Antiga Planta da DuPont) em Belle, WV



Fonte: Adaptado de Google Maps

Os três acidentes ocorreram em unidades separadas da planta, sem correlação um com o outro, porém em um espaço curto de tempo, entre os dias 22 e 23/01/2010. O primeiro ocorrido se deu na unidade de produção de F3455, um intermediário para

a produção do herbicida Velpar®, onde ocorreu a liberação de mais de 900 kg de cloreto de metila. O segundo acidente foi uma liberação de oleum na unidade de recuperação de ácido. Por último, ocorreu a liberação de fosgênio em uma terceira unidade da planta. O último acidente foi fatal, matando um funcionário.

A série de acidentes teve repercussão tanto pela fatalidade quanto pela proximidade de tempo dos acontecimentos. A CSB conduziu uma investigação sobre o ocorrido logo após ao acontecimento, divulgando um relatório em setembro de 2011 (CSB, 2011). A descrição dos fatos nos capítulos 2, 3 e 4 se baseiam inteiramente em tal relatório.

1.3. Objetivo

Esse trabalho tem como objetivo discutir os eventos apresentados com base no *Risk Based Process Safety* (RBPS) – diretrizes para sistemas de gerência de segurança publicado pelo CCPS. A escolha dos eventos analisados se deve ao fato de serem acontecimentos de menor proporção e, portanto, menos estudados pela literatura, e ao fato de serem objeto da primeira de uma série de três investigações conduzidas a cerca de uma empresa pela CSB em menos de uma década.

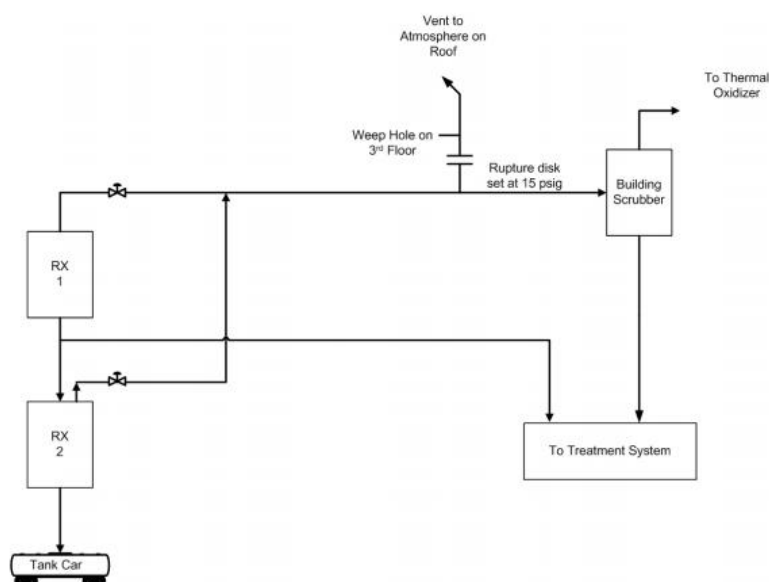
1.4. Estrutura

Os capítulos 2, 3 e 4 resumem os fatos dos acidentes de vazamento de cloreto de metila, vazamento de oleum e vazamento de fosgênio, respectivamente. O 5º capítulo traz uma explicação do que é um sistema de gerenciamento de segurança. É feita também uma discussão acerca das falhas dos acidentes que ocorreram na planta de Belle da DuPont. Por fim, são expostos os resultados e as conclusões do trabalho.

2. Vazamento de Cloreto de Metila

O primeiro acidente ocorreu com a liberação de cloreto de metila da unidade de produção de F3455, um intermediário químico para a produção do herbicida Velpar®. Um dos reatores possuía um processo exotérmico, e alguns gases do processo escapavam pelo sistema de ventilação, incluindo o cloreto de metila. Eles eram levados a um sistema de tratamento, que incluía um lavador de gases (*scrubber*), e uma unidade de oxidação térmica (*thermal oxidizer*). Para evitar qualquer dano ao *scrubber* em caso de uma sobrepressão, havia um disco de ruptura no sistema de ventilação. O disco de ruptura (*rupture disk*) levava a uma outra tubulação, para ventilar os gases diretamente para a atmosfera, como representado na Figura 5:

Figura 5 - Diagrama de Blocos Simplificado do Sistema de Segurança

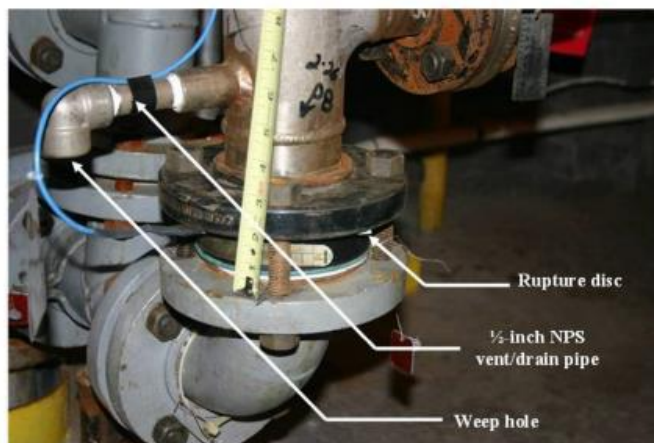


Fonte: CSB, 2011

A unidade estava parada para uma manutenção do dia 12/09/2009 até 17/01/2010, quando foi reiniciada. No dia 22/01/2010, um detector calibrado para detectar cloroformiato de etila acionou um alarme, e uma equipe foi despachada para investigar. Os operadores identificaram um odor forte no terceiro andar do prédio onde estava localizada a unidade, além de vapor e uma poça ao lado de um furo (*weep hole*) em uma tubulação de ventilação que vinha dos reatores de produção de F3455. *Weep hole* é um buraco, chamado de choro em português, que permite a drenagem de qualquer condensação formada dentro do tubo, e está representado pela Figura 6.

O alarme não havia sido acionado pela presença de cloroformiato de etila, mas sim pelo cloro presente no cloreto de metila.

Figura 6 - Weep Hole



Fonte: CSB, 2011

Após a identificação do vazamento, as válvulas que conduziam à tubulação foram fechadas, e o reator foi resfriado para paralisar o processo. O supervisor responsável foi informado, e ele estimou a liberação 907 kg de cloreto de metila durante 5 dias, desde o reinício da unidade. Investigações da DuPont descobriram que um outro alarme, associado ao sensor do disco de ruptura mencionado, havia sido acionado no dia 21/12/2009, durante a parada de manutenção. Como não havia riscos do processo durante a parada, e por uma série de falsos alarmes do próprio equipamento, o alarme foi ignorado, e no dia do acidente, em janeiro de 2010, ele ainda se encontrava ativo.

As análises da CSB relataram uma série de erros que contribuíram para o acontecimento. Os erros incluíam o projeto do sistema de segurança, que inclui o tubo de ventilação e o disco de ruptura, os procedimentos e revisões do Gerenciamento de Mudanças (*Management of Change - MOC*), e o tratamento dado a alarmes por parte dos funcionários da empresa. Não houve nenhuma fatalidade, apenas danos econômicos pela necessidade de paralisação do processo.

2.1. Velpar®

Velpar é o nome comercial dado ao herbicida produzido pela DuPont. O composto orgânico principal do herbicida é a Hexazinona, de fórmula química $C_{12}H_{20}N_4O_2$. De acordo com a Ficha de Informação de Segurança dos Produtos Químicos (FISPQ), o produto é um líquido de coloração amarela clara, e causa danos graves no contato com os olhos, e a outros órgãos se houver exposição prolongada ou repetida. Não há indícios sobre a carcinogenicidade em seres humanos. A Hexazinona possui um limite de exposição aceitável (AEL-TWA - *Acceptable Exposure Limit – Time Weighted Average*) de 8 horas de 5 mg/m^3 . O AEL é um limite definido pela própria DuPont. (ARBOCHEM, 2015).

2.2. Cloreto de Metila

O cloreto de metila, de fórmula química CH_3Cl , é um gás incolor e com um odor fraco e doce, e é altamente inflamável. A inalação desse gás pode causar náusea, vômitos, dor de cabeça, fraqueza, entre outros sintomas. Por ser mais pesado que o ar, pode provocar o seu deslocamento e, portanto, asfixia. É um potencial carcinogênico ocupacional. A concentração Imediatamente Perigosa para a Vida e Saúde (IPVS) definida pelo *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), dos Estados Unidos, é de 2000 ppm. Já o limite permissível de exposição (PEL-TWA - *Permissible Exposure Limit*) definido pela OSHA, de 8 horas, é de 100 ppm. (NOAA, 1999a)

2.3. Tubulação de Ventilação

O erro do projeto do sistema identificado pela CSB consistia no fato da tubulação localizada após o disco de ruptura passar pelo interior de uma edificação. Tal tubulação possuía um *weep hole*, mostrado na figura 6, localizada no terceiro andar do prédio. Por causa disso, houve a liberação de gases tóxicos para dentro de um ambiente fechado quando o disco se rompeu. Tal liberação poderia ser danosa aos trabalhadores, mas ficou despercebida durante 5 dias, pois a sala em que ocorreu era pouco frequentada.

2.4. Alarme do Disco de Ruptura

Além da localização da tubulação de ventilação, havia erros nos procedimentos referentes ao disco de ruptura, e na tecnologia escolhida para o alarme associado. O primeiro erro identificado foi o fato de o disco de ruptura não ser trocado em manutenções preventivas, somente quando ele era ativado ou removido para algum processo. O segundo foi o alarme ser alimentado por uma bateria, e não por uma fonte de alimentação de energia direta. Por esse motivo, sempre que a bateria estava fraca, o alarme era acionado. O equipamento não distinguia os alarmes de bateria fraca e de ruptura do disco. Com falsos alarmes constantes, os funcionários passaram a tratar essa barreira com indiferença, e a ruptura do disco durante a parada de manutenção se passou despercebida.

O alarme acabou sendo trocado para uma fonte direta de alimentação de energia, antes do acidente ocorrer, mas isso não mudou o comportamento dos funcionários. De acordo com a CSB, a troca não foi devidamente registrada no MOC, o que causou com que os funcionários continuassem a desconsiderar a importância do alarme, que agora teria menor probabilidade de ser acionado por problemas de alimentação. Ao invés de ser registrada como MOC-T (troca referente a uma tecnologia do processo), foi registrada como uma troca sutil. Ambas as formas de classificação estavam presentes no Padrão de Gerenciamento de Segurança de Processo da própria DuPont. Quando a troca é considerada como sutil, as revisões de segurança são menos aprofundadas. Caso fosse seguido o próprio padrão da DuPont, os funcionários deveriam ter sido mais bem informados e treinados sobre a troca, de forma a não mais considerarem alarmes do disco como irrelevantes.

Apesar da CSB considerar que a classificação deveria ter sido feita como MOC-T, o principal ponto de preocupação nesse caso deveria ser a cultura de segurança dos funcionários da companhia. Uma troca do sistema de alimentação do alarme não afeta diretamente o processo, podendo ser considerado sutil. E mesmo sendo sutil, todos envolvidos na operação deveriam ser adequadamente informados. Um alarme é uma barreira humana e preventiva de segurança, apenas informa acerca de um cenário que requer uma ação humana. Dessa forma, requer procedimentos de resposta bem elaborados e treinamento para que seja efetivo. Se os funcionários não

estão bem treinados para entender a importância de um alarme, e como responder propriamente ao seu acionamento, ele passa a não ter utilidade.

3. Vazamento de Oleum

O segundo acidente ocorrido na planta industrial da DuPont se deu a menos de 24h depois do vazamento de cloreto de metila. Havia uma unidade na planta destinada a recuperação de oleum, denominada de *Spent Acid Recovery* (SAR). O oleum era utilizado em um processo de produção de ácido metacrílico. A identificação do vazamento foi feita as 7 horas e 40 minutos da manhã do dia 23/01/2010 por operadores que observaram uma nevoa na unidade SAR. Os danos desse acidente foram materiais, com perda da tubulação de oleum, e econômico pela necessidade de paralisação do processo.

A unidade em questão era controlada por outra empresa, a *Lucite International*, e era operada por funcionários da DuPont. Em decorrência de exigências feitas pela *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA) para aumentar o monitoramento de emissões, a unidade estava agendada para ser desativada desde abril de 2009, e a desativação foi concluída em março de 2010, após o acidente.

3.1. Oleum

O Oleum, também conhecido como ácido sulfúrico fumegante, é uma solução de trióxido de enxofre (SO_3) em ácido sulfúrico (H_2SO_4). Não é inflamável, mas é altamente corrosivo. De acordo com NOAA (1999-c), “os vapores de oleum causam irritação severa do olho e da garganta, e podem gerar danos permanentes ao olho e pulmão.” Já o oleum líquido “pode causar queimaduras de segundo ou terceiro grau em contato rápido com a pele, e é muito prejudicial aos olhos.” O valor de AEGL-2 (*Acute Emergency Guideline Level 2*) do oleum é de $8,7 \text{ mg/m}^3$ para um período de 1 hora (EPA, 2021-c).

Os valores AEGL são limites de exposição à produtos químicos, definidos pela EPA. Eles são separados em três níveis, e cada nível pode ser calculado para 10 minutos, 30 minutos, 1 hora, 4 horas e 8 horas. De acordo com a EPA (2021-a), o AEGL-1 é o valor de concentração de uma substância que provoca “Desconforto perceptível, irritação ou certos sintomas assintomáticos não sensoriais”. O AEGL-2 provoca “Efeitos adversos à saúde irreversíveis ou de longa duração”, e o AEGL-3 “Efeitos com riscos à vida, ou morte”.

3.2. O Acidente

O vazamento foi oriundo de uma tubulação de amostragem de oleum da unidade. As investigações da CSB encontraram dois furos no tubo, feito de aço inoxidável 304L. Um furo menor tinha evidências de ter se formado de dentro para fora, em um fenômeno de corrosão por pites. De acordo com ASM (1987), corrosão por pites é um tipo de corrosão extremamente localizada, com a formação de pequenas cavidades no metal. O vazamento de oleum corroeu um tubo de um traçado de calor (*heat tracing*). *Heat tracing* é uma forma de aquecimento superficial, utilizada, no caso, para que o oleum não congelasse em dias frios, exemplificado na Figura 7. Em contato com o vapor d'água, o oleum reagiu formando ácido sulfúrico altamente concentrado. O ácido sulfúrico por sua vez corroeu a tubulação de amostragem de oleum, causando um segundo furo, e contribuindo com o maior vazamento.

Figura 7 - Heat Tracing



Fonte: Chemical Engineering World, 2020

O material usado na tubulação de amostragem se mostrava adequado. O processo de perda de espessura da parede do tubo, no caso de uma corrosão uniforme pelo oleum, levaria a uma vida útil de 40 anos. O tubo específico estava em utilização por somente 19 anos. Os investigadores não definiram qual foi a causa exata da corrosão localizada, sugerindo apenas uma teoria de um defeito de fabricação do tubo, o que era difícil de identificar. Porém, o relatório concluiu que o acidente poderia ter sido minimizado caso o aquecimento do tubo fosse feito com um

traçado elétrico (*electric tracing*) ao invés de *heat tracing*. Desta forma, não haveria a reação de oleum com vapor que causou o segundo furo na tubulação.

3.3. Resposta ao Acidente

De acordo com a CSB, a resposta dos funcionários ao acidente foi adequada. O operador responsável da unidade confirmou que havia um vazamento em uma tubulação de amostragem de oleum, e tomou as medidas necessárias, acionando um alerta de fumaça, que por sua vez acionou um alarme sonoro na unidade SAR. Além disso, o segurança patrimonial foi informado para ligar para a emergência, que despachou três viaturas de bombeiros para a planta. A brigada de incêndio da planta de Belle também foi acionada, e os socorristas foram até o local com os devidos Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e uma viatura de combate a incêndio. Enquanto uma viatura direcionava um spray de nevoa d'água na unidade, e outra um jato d'água oscilando, um respondente, trajado de um uniforme antiácido e um equipamento de respiração se aproximou e fechou uma válvula da tubulação, interrompendo o vazamento, às 8 horas e 9 minutos da manhã. Foi-se calculado um vazamento de 10 kg de oleum.

3.4. EPI

Apesar de não estar claro no relatório da CSB, o EPI utilizado parece seguir a norma de número *1910.120 App B* da OSHA, que estabelece e detalha os aparelhos necessários para diferentes níveis de proteção. O uniforme antiácido e o aparelho respiratório isolante se enquadram no nível A da norma. De acordo com a OSHA (1994), tal nível de EPI deve ser utilizado “quando há o maior nível necessário de proteção da pele, olho e aparelho respiratório humano”. Essa necessidade é compatível com o vazamento de oleum, substância altamente corrosiva.

A OSHA (1994) define outros três níveis: B, C e D. O nível B deve ser escolhido quando “é necessário o mais alto nível de proteção respiratório, mas um nível inferior de proteção da pele”. O terceiro nível, C, é para situações em que “a concentração e o tipo de substância presente no ar são conhecidos, e os critérios de respiradores purificadores de ar são cumpridos”. Por fim, a proteção de nível D é “um uniforme que forneça o nível mínimo de proteção, utilizado quando há o risco de uma contaminação apenas incômoda.”

3.5. Acidente Anterior

Vale ressaltar que a unidade já havia tido um acidente similar no ano anterior. Em 2009, um vazamento de 18 kg de oleum ocorreu na unidade. Uma investigação interna da DuPont, decorrente desse vazamento, recomendou a inclusão de todas as tubulações da unidade na programação de manutenção preventiva. Tal fato não ocorreu antes do acidente de 2010.

4. Vazamento de Fosgênio

O terceiro e último acidente ocorrido na série de acontecimentos dos dias 22/01/2010 na planta da DuPont em Belle foi o vazamento de fosgênio na unidade *Small Lots Manufacturing* (SLM), utilizada para produzir intermediários químicos a base de isocianato. Este acidente foi fatal, matando um funcionário. Por esse motivo, ele foi coberto com mais detalhes pela investigação da CSB, e foram encontradas diversas irregularidades que poderiam ter sido resolvidas, prevenindo o acontecimento.

O fosgênio era armazenado em cilindros de uma tonelada, em um galpão parcialmente coberto. No galpão, dois cilindros eram posicionados em cima de duas balanças, e eram conectados ao processo por meio de mangueiras para a alimentação do fosgênio. Um cilindro ficava ativo por vez, enquanto o outro ficava com a válvula de alimentação fechada. Quando a balança do cilindro ativo indicava que ele estava vazio, um operador fechava a válvula de alimentação, e abria a do cilindro posicionado na outra balança. O cilindro vazio era então trocado por outro do armazém. A unidade funcionava de acordo com a demanda. Dois a três cilindros costumavam ser usados por dia.

O acidente ocorreu exatamente enquanto um funcionário fazia a inspeção do cilindro posicionado sobre a balança, que não estava ativo. Apesar de não estar ativo, a mangueira conectada ao cilindro possuía fosgênio aprisionado. Entre 13:45 e 14:00h do dia 23/01/2010, esta mangueira se rompeu, e fosgênio líquido atingiu o rosto do funcionário que estava realizando a inspeção. Estima-se que aproximadamente 1 kg foi liberado.

A vítima pediu assistência e foi encaminhada para o centro médico da planta. Enquanto isso, o supervisor da planta no dia avisou o segurança patrimonial sobre o ocorrido, que ligou para a emergência, as 13:59h, solicitando uma ambulância. O funcionário atingido chegou até o centro médico, lavou suas mãos e rosto, e trocou de roupa. A ambulância foi despachada as 14:03h e, as 14:08h, os socorristas ligaram para a DuPont solicitando mais informações sobre o acidente. A ligação não foi atendida. As 14:14h a ambulância chegou ao local, e os respondentes foram informados sobre a natureza do acontecimento. Eles receberam orientações de

tratamento para intoxicação com fosgênio, e foram em direção ao hospital com a vítima. Saíram as 14:26h e chegaram 14:34h. O paciente estava bem e lúcido ao chegar, mas sua condição começou a piorar, e ele faleceu as 9:27h da manhã do dia seguinte.

4.1. Fosgênio

O fosgênio é um gás ou líquido incolor, de fórmula química COCl_2 , ponto de ebulição de 8,3 °C, e extremamente tóxico. Considerando a temperatura média da Virgínia Ocidental em janeiro, a substância estaria na forma líquida em temperatura ambiente. O AEGL-2 é de 0.3 ppm para 10 minutos (EPA, 2021-b). A concentração mínima em que pode ser detectado pelo odor é de 0.5 ppm, tornando esse parâmetro não confiável. O valor IPVS por sua vez é de 2 ppm. (NOAA-b)

4.2. Resposta ao Acidente

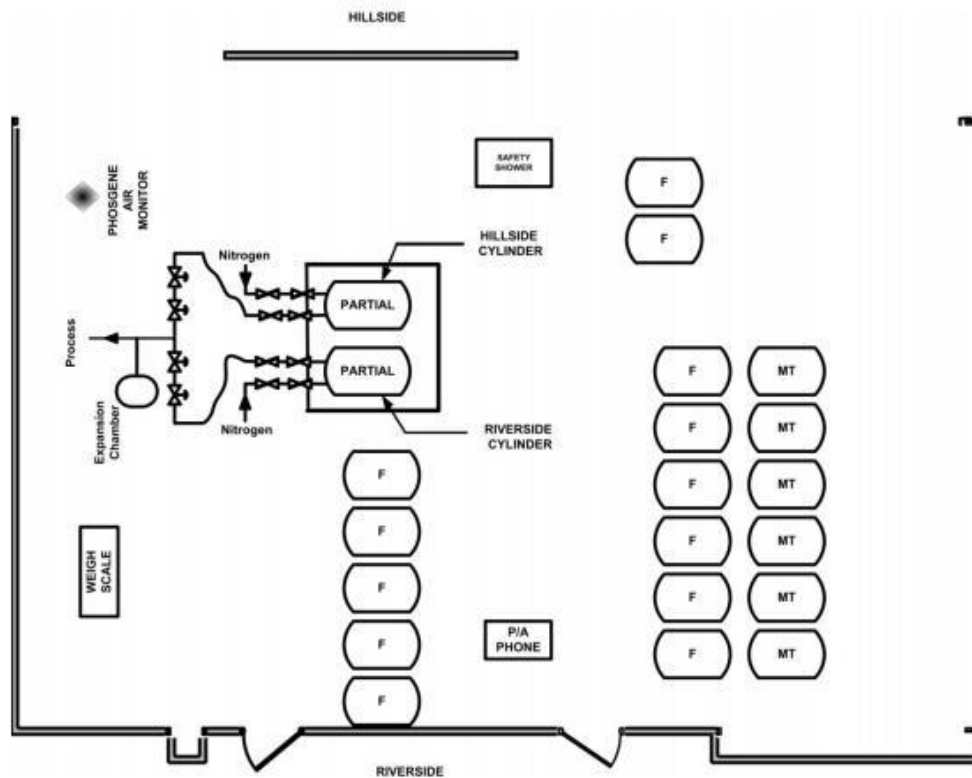
A CSB considerou a resposta ao acidente por parte dos funcionários da DuPont como problemática. O operador contaminado com a liberação do fosgênio não utilizou o chuveiro de segurança presente no galpão. Com isso, ele oferecia um risco para os outros funcionários com quem teve contato. O funcionário que levou a vítima até o centro médico, foi comprovadamente exposto a fosgênio, por apresentar descoloração no dosímetro que utilizava. Todos que entravam na unidade SLM eram obrigados a utilizar um crachá equipado com um dosímetro, para identificar exposição a concentrações de fosgênio acima de 0.9 ppm. Outro funcionário reportou ter sentido um odor ao se aproximar do galpão, e não havia qualquer alarme, sonoro ou visual, para o alertar contra isso.

Além disso, a comunicação com a equipe de emergência acionada não foi adequada. Os socorristas da ambulância não foram propriamente informados sobre a natureza do acidente antes de chegarem ao local. Caso soubessem da liberação de um componente químico tóxico, teriam utilizado o EPI adequado. Isso inclusive gerou uma mudança no protocolo do serviço de atendimento médico de urgência local, de não entrar em plantas industriais antes de ter detalhes do ocorrido.

4.3. Galpão de Armazenamento de Fosgênio

O projeto do galpão utilizado para o armazenamento dos cilindros de fosgênio constituía em um risco para os operadores da unidade. O local era apenas parcialmente aberto, como exemplificado na Figura 8, e não possuía ventilação mecânica. No relatório da CSB, os investigadores discutem a necessidade de enclausurar completamente a unidade, e instalar um *scrubber*, mas outra opção poderia ser eliminar qualquer parede do local, para permitir uma maior troca de ar.

Figura 8 - Galpão de Armazenamento de Fosgênio



Fonte: CSB, 2011

Durante o projeto da unidade, em 1988, foram cogitadas 4 opções para utilização do fosgênio: (i) utilizar cilindros de fosgênio com alimentação líquida para o processo; (ii) vaporizar o fosgênio armazenado nos cilindros; (iii) produzir o fosgênio no local em uma planta aberta para a atmosfera; (iv) enclausurar a planta de produção e instalar um lavador de gases. A 3ª opção foi escolhida, e uma planta de produção começou a ser construída, mas foi abandonada antes do término.

Durante algumas análises de risco de processo, conduzidas após o abandono da construção da planta de produção de fosgênio, o risco de impacto interno e externo da unidade SLM foi identificado. Na análise de 2004, foi recomendada a construção de um galpão completamente fechado para a atmosfera, e equipado com um *scrubber*. A data inicial para o término da modificação do galpão foi marcada para dezembro de 2005. Apesar disso, a construção do galpão encoberto com *scrubber* foi adiada 4 vezes, e em 2010, no dia do acidente, ainda não havia sido concluída. A unidade SLM acabou sendo encerrada antes que a recomendação pudesse ser acatada.

Além do projeto do galpão em si, o EPI requerido para conduzir operações dentro do galpão não protegiam contra os perigos de contaminação por fosgênio. Havia duas operações conduzidas rotineiramente pelos operadores. A primeira acontecia quando o cilindro ativo esvaziava, então um operador fechava a válvula que o conectava ao processo, e abria a válvula do cilindro da outra balança. A segunda operação consistia em retirar o cilindro vazio da balança e posicionar outro cheio no lugar, para ser ligado ao processo assim que o cilindro ativo esvaziasse. Antes de ser retirado, era utilizada uma purga de nitrogênio para remover todo o fosgênio do cilindro e da mangueira conectada ao processo antes de serem desconectados. Para a primeira operação, os operadores eram requeridos a usar EPIs básicos, como capacete, bota reforçada, óculos de segurança, roupa a prova de fogo e um indicador de fosgênio. Apenas para a segunda operação que era necessária a utilização de roupa química completa com luva e capuz (com o indicador posicionado dentro), além de respirador com fonte de ar para respiração. Durante o acidente, o operador atingido usava somente o básico, pois ia apenas conferir o peso da balança do cilindro ativo.

4.4. Mangueira de Fosgênio

A escolha da mangueira para a operação de transferência de fosgênio e a frequência de troca foram, talvez, os principais fatores que contribuíram para o acontecimento, e sua gravidade. O material usado para a mangueira foi fruto de discussões de engenheiros da planta com outras plantas, com funcionários corporativos da DuPont, e com diversos auditores. Além da mangueira para transferir fosgênio ao processo, havia uma segunda conectada a cada cilindro para pressurizar com nitrogênio 70-psig.

O material utilizado pela unidade para a transferência de fosgênio era uma linha de politetrafluoretileno (PTFE), revestida com uma malha de aço inoxidável 304. A própria DuPont possui um padrão de especificações para mangueiras utilizadas para transferência de fosgênio, e nenhuma incluía a combinação utilizada. O PTFE é susceptível a permeação de fosgênio. O fosgênio reage rapidamente com vapor presente no ar, formando cloreto de hidrogênio. O cloreto, por sua vez, ataca o aço inoxidável, o degradando.

A escolha da mangueira utilizada foi discutida, em 1987, com engenheiros da fábrica da DuPont em La Porte, Texas, onde já havia operações com fosgênio. Especialistas corporativos da DuPont haviam recomendado uma mangueira de monel com revestimento de malha de monel, mas a planta de La Porte contrariou, dizendo que experiências prévias com o material não tinham sido boas. Apesar do monel ser um liga à base de níquel com grande resistência à corrosão, foi observado que o material apresentava uma descoloração em operações com o fosgênio. Apesar do especialista comunicar à Belle que isso não representava um risco, eles decidiram seguir a recomendação de La Porte que, no momento das conversas, utilizava uma mangueira de PTFE revestida com malha de aço inoxidável.

Além da discussão inicial, em uma análise de risco feita em 1999, foram avaliados dois incidentes, em que fosgênio provavelmente permeou por linhas de PTFE, mas isso não levou a nenhuma consideração sobre as operações com fosgênio em Belle. Houve também uma auditoria feita na planta de Belle, em 2006 pelo *Phosgene Highly Toxic Material Guardian Committee*. A DuPont possuía alguns comitês de materiais altamente tóxicos, incluindo o fosgênio, para lidar com a segurança nos processos aplicáveis. A auditoria observou que a unidade não utilizava uma mangueira definida pelos padrões da DuPont, e identificou corrosão nas mangueiras, mas isso não levou a Belle a mudar sua prática, por serem apenas observações.

Outro fator contribuinte foi a forma como as mangueiras eram etiquetadas. Ao invés de utilizar etiquetas penduradas por um lacre plástico, eram utilizados papeis adesivos colados diretamente na mangueira, no revestimento de malha de aço inoxidável. Isso formava um local apropriado para o acúmulo de fosgênio que

permeava pela linha de PTFE, e conseqüentemente um ponto de corrosão para o aço inoxidável. Análise posterior ao acidente concluiu que foi exatamente nesse local em que ocorreu a falha catastrófica, o rompimento da mangueira que resultou na liberação do fosgênio em cima do operador que veio a óbito. A Figura 9 abaixo exemplifica como eram etiquetadas as mangueiras e como isso contribuiu para a corrosão das mesmas.

Figura 9 - Etiquetagem das Mangueiras de Fosgênio



Fonte: CSB, 2011

4.5. Troca das Mangueiras

A troca das mangueiras era gerenciada automaticamente na planta de Belle. O sistema estava programado para emitir uma ordem de troca de 30 em 30 dias. Apesar disso, a CSB identificou que, entre 2006 e 2009, as trocas eram inconstantes na unidade SLM, podendo a mesma mangueira ficar em uso durante 4 a 7 meses. A mangueira que falhou estava conectada há 6 meses, entre junho de 2009 e janeiro de 2010. A investigação identificou uma alteração nos dados que ditavam a frequência das trocas em 2006, e elas pararam de ser automáticas. Não havia outra camada de segurança para garantir que a troca fosse feita no tempo correto.

4.6. Procedimentos Não Previstos

No dia do acidente, um dos cilindros estava apresentando uma restrição de fluxo de fosgênio para o processo. Para não comprometer a operação, os funcionários estavam realizando procedimentos não previstos nos Procedimentos Operacionais Padrões, que consistiam em alternar o cilindro ativo antes dele estar completamente vazio. Por não ser uma atividade rotineira, o fosgênio não era purgado, e ele ficava aprisionado na mangueira por algum tempo.

O fosgênio é suscetível à expansão térmica, e foi exatamente isso, combinado com a corrosão localizada embaixo da etiqueta, que causou o rompimento da mangueira, contaminando o funcionário. Em 2009, um ano antes do acidente, uma análise de risco feita pela DuPont reconheceu esse potencial fenômeno em equipamentos de processos que utilizavam fosgênio. Por algum motivo, isso não foi considerado para as mangueiras de transferência da unidade de SLM da planta de Belle.

A CSB identificou que havia ocorrido um incidente na planta de SLM no próprio dia dos eventos de 2010, que foi classificado como Quase Acidente (*Near Miss*), ou simplesmente um incidente, por causa de uma restrição de fluxo da mangueira. A mangueira de um dos cilindros (o que não foi a causa do acidente) foi removida por não estar funcionando corretamente. Ela foi lavada e descontaminada, e com isso a etiqueta caiu. Embaixo dela, foi revelada que a malha de aço inoxidável estava quebrada, e a linha de PTFE estava colapsada, o que causou a restrição do fluxo. Como era um sábado, nenhum supervisor estava presente na unidade, então os funcionários decidiram esperar até segunda feira para informar o incidente. Dessa forma, ele não foi classificado como um *Near Miss* instantaneamente, o que poderia ter gerado uma pronta investigação e prevenido o acidente com a outra mangueira.

Uma auditoria feita em 2007, que incluiu a unidade SLM, constatou que os funcionários recorrentemente deixavam de iniciar investigações prontamente. Não eram cumpridos os requerimentos da OSHA de iniciação em até 24 horas do incidente. A atitude de esperar até segunda feira para reportar o *Near Miss* descumpria tal norma, e o fato desse erro ter sido identificado e não corrigido é preocupante.

4.7. Alarmes nas Instalações

As instalações tinham 12 sensores que mediam a concentração de fosgênio a cada 30 segundos, com uma sensibilidade variando entre 0,05 e 1 ppm. Dentro do galpão onde os cilindros estavam, havia apenas 1 sensor. No prédio inteiro da unidade SLM havia mais 6. Ao lado do prédio havia 2, e mais 3 na cerca da planta industrial, a aproximadamente 37 metros do galpão. Caso houvesse uma leitura acima de 0,05 ppm, teoricamente um alarme *medium high* era acionado, e acima de 0,1 ppm, um alarme *high high*.

No dia do acidente, o sensor do galpão identificou concentrações variando de 0,05 a 1 ppm (máximo detectável) durante 50 minutos. O sensor da cerca identificou uma concentração máxima de 0,27 ppm. Com isso, alarmes foram acionados na sala de controle, porém, não foram encontradas evidências pela investigação da CSB de que algum alarme visual ou sonoro tenha sido ativado na unidade SLM. Mesmo com a leitura de concentração na cerca da planta, não houve relato de impacto na comunidade ao redor por exposição a fosgênio.

5. Análise dos Acidentes com Base no RBPS

Este capítulo aborda uma introdução sobre sistemas de gerenciamento de segurança, descrevendo o RBPS e seus 20 elementos. Também aborda as falhas em relação ao sistema que ocorreram nos acidentes estudados nesse trabalho, separados em: (a) Vazamento de cloreto de metila, (b) Vazamento de oleum e (c) Vazamento de fosgênio.

5.1. O Documento RPBS

Sistemas de gerenciamento de segurança são utilizados mundialmente com o intuito de diminuir os riscos de grandes acidentes. Tais sistemas podem ser parte de regulações, impostas pelos governos de onde as empresas atuam, podem ser elaborados por associações de indústrias ou pela própria organização. Apesar de muitas vezes imposta por meio de normas, a segurança é algo do interesse próprio da empresa, sendo uma forma de proteger os seus ativos, trabalhadores e a sua reputação no mercado.

Um exemplo de sistema de gerenciamento existente é o *Process Safety Management* (PSM), elaborado pela OSHA. É parte de uma regulação imposta por uma agência governamental dos Estados Unidos, aplicável a diversas indústrias que lidem com uma lista de produtos químicos ou inflamáveis definidos pela própria OSHA. São 14 elementos que compõe o sistema, mas a OSHA (2000) cita a análise de riscos de processos como o mais importante, sendo tal análise uma “revisão cuidadosa do que pode dar errado e quais salvaguardas devem ser implementadas para prevenir a liberação de químicos perigosos”. Outro exemplo, agora brasileiro, é o Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional (SGSO). O SGSO é um regulamento definido pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e aplicável a instalações marítimas de produção de óleo e gás ou de perfuração de poços. De acordo com a ANP (2020), é “o primeiro regulamento de segurança operacional do Brasil”. Nesse documento são descritas 17 práticas de gestão com o intuito de proteger a vida e o meio ambiente.

Já o *Risk Based Process Safety* (RBPS) é definido por uma instituição não governamental, o CCPS, um grupo técnico da AIChE. Como o próprio nome evidencia, é um sistema de gerenciamento de segurança baseados em riscos. A ideia é avaliar

os diferentes riscos e perigos dos processos de uma empresa química para definir a melhor alocação dos recursos em segurança. Todos os cenários devem ser avaliados, mas aqueles que constituírem uma maior ameaça deverão ter uma maior alocação de tempo, dinheiro e atenção (CCPS, 2014). O RBPS foi escolhido para a análise feita neste trabalho por ser mais completo que o PSM, com 20 elementos ao invés de 14, e por ser mais adequado que o SGSO, focado em instalações marítimas de óleo e gás no Brasil.

Para o CCPS (2014), um sistema de gestão é “um conjunto de atividades formalmente estabelecido e documentado, designado para produzir resultados específicos de uma maneira consistente e sustentável.” O intuito do RBPS é ajudar organizações a criarem os seus próprios sistemas de gestão de segurança, corrigirem falhas ou melhorarem sistemas já existentes. Cabe a cada empresa a definir quais áreas estarão sujeitas ao sistema, que nunca deve deixar de abranger normas e regulamentações locais.

O RBPS é estruturado em quatro principais pilares, ou blocos de fundação, e cada um possui elementos associados. Os blocos são os seguintes: (i) Se comprometer com a segurança de processos; (ii) Entender perigos e riscos; (iii) Gerenciar riscos; (iv) Aprender com a Experiência. A estrutura do documento está representada na Tabela 1, e a seguir serão discutidos os acidentes ocorridos na planta da DuPont, com base em cada elemento. As descrições dos elementos durante os tópicos seguintes desse capítulo estão baseadas no documento do CCPS (2014).

Tabela 1 - Estrutura do RBPS

Bloco	Elemento
Se Comprometer com a Segurança de Processos	Cultura de Segurança de Processos
	Conformidade com Padrões
	Competência em Segurança de Processos
	Envolvimento da Força de Trabalho
	Relação com Stakeholders
Entender Perigos e Riscos	Gestão de Conhecimento do Processo
	Identificação de Perigos e Análise de Risco
Gerenciar Riscos	Procedimentos Operacionais
	Práticas de Trabalho Seguro
	Integridade de Ativos e Confiabilidade
	Gestão de Terceirizados
	Treinamento e Garantia de Desempenho
	Gerenciamento de Mudanças
	Prontidão Operacional
	Conduta das Operações
	Gerenciamento de Emergências
Aprender com a Experiência	Investigação de Incidentes
	Medição e Métricas
	Auditorias
	Revisão do Gerenciamento e Melhoria Contínua

Fonte: Adaptado de CCPS, 2014

5.2. Primeiro Bloco – Se Comprometer com a Segurança de Processos

O primeiro bloco de fundação é essencial para que uma organização tenha excelência em segurança de processos. Toda a organização deve estar comprometida com uma cultura em comum, para que a excelência em segurança seja atingida em todos os níveis. Os trabalhadores devem estar convencidos que a segurança é um valor essencial, de forma que eles trabalhem adequadamente mesmo quando não houver supervisão. São cinco os elementos que compõe este bloco, que serão discutidos abaixo.

5.2.1. Cultura de Segurança de Processos

O primeiro elemento do bloco define a cultura de segurança de processos como a maneira em que são feitas as atividades de uma empresa, ou quais são as expectativas do local e como é o comportamento de um indivíduo sem a supervisão de outros. O CCPS (2014) define de forma mais elaborada como “uma combinação de valores do grupo e comportamentos que determinam a maneira em que a segurança de processos é gerenciada”. Esse elemento inclui alguns princípios que devem ser observados ao implementar, avaliar ou melhorar o sistema de gerenciamento.

O primeiro consiste em manter uma prática confiável, ou seja, que é consistente ao longo do tempo. Para que isso seja alcançado, é necessário que a segurança de processos seja um valor essencial para a organização, e que sempre sejam almejados e exigidos padrões de segurança dos mais altos possíveis. Para isso, é necessário ter uma liderança forte e alinhada com tal valor, além de documentar corretamente, com ênfase, a abordagem de segurança esperada dos funcionários.

O segundo princípio envolve implementar uma cultura que seja sólida e clara, que permita a organização a lidar com os problemas de segurança com sucesso. Para isso, todos os funcionários devem sempre cumprir com suas próprias responsabilidades de segurança, mas sem deixar de se referir a alguém mais experiente quando necessário. O ambiente deve permitir uma comunicação aberta e efetiva, com confiança entre os trabalhadores. Isso tudo sem perder o senso de vulnerabilidade das pessoas, que devem estar cientes de que suas ações podem ocasionar riscos a eles e outros. Por fim, todo problema, ou até preocupação com a segurança no local deve ser atendido o mais brevemente possível. O terceiro e último princípio estimula o monitoramento contínuo da performance da cultura de segurança através de indicadores.

a) **Vazamento de cloreto de metila:** O comportamento dos funcionários da unidade de produção do F3455, onde ocorreu o vazamento de cloreto de metila, é exemplo de falta de cultura de segurança. Eles haviam se acostumado a ignorar o alarme associado ao disco de ruptura, indicando não haver mais o senso de

vulnerabilidade entre os trabalhadores. Indica também que a resposta a problemas de segurança não era a mais breve possível.

Alarmes são barreiras importantíssimas, e como discutido anteriormente, necessitam da ação humana para serem efetivas. Uma corporação com uma cultura sólida de segurança entende que tais medidas de segurança não devem ser ignoradas. Se por algum acaso um alarme se tornar um incômodo, uma revisão do mesmo deve ser feita, envolvendo diversos elementos do sistema de gerenciamento de segurança, como os procedimentos operacionais e análise de risco, que serão discutidos a seguir. Caso contrário, é possível que a prática de ignorar barreiras se torne usual, incorporada na cultura dos funcionários, como chegou a ocorrer em Belle.

Um caso extremo em que a prática de ignorar alarmes contribuiu para uma tragédia aconteceu na refinaria da BP em Texas City, no Texas. Em atividades de reinício de uma unidade de isomerização, operadores da BP estavam acostumados a operar a torre de destilação com um nível de líquido acima do normal, e inclusive acima do que o medidor conseguia ler. A justificativa era para não causar danos à caldeira ligada ao processo. Para tal, eles estavam acostumados a ignorar o alarme ligado ao medidor, que indicava quando o líquido estava acima do nível possível de medição. Dessa forma, não havia como saber a altura real dentro da coluna. Durante um reinício da unidade em 2005, o acúmulo de líquido acima do permitido na coluna desencadeou em uma série de problemas, incluindo a liberação de hidrocarbonetos líquidos, que levaram a uma explosão trágica, matando 18 pessoas. (CSB, 2008)

O exemplo em Belle não chegou a proporções do acidente da BP, mas compartilha de algumas características. A falha na cultura de segurança é uma delas, mesmo que em uma proporção menor. Também envolveu a liberação de uma substância altamente inflamável, em grande parte pela desconsideração de alarmes. Caso tivesse ocorrido a liberação de um volume maior, por qualquer que seja o motivo, e houvesse alguma fonte de ignição no local, que foi o caso da BP, poderia ter ocorrido uma tragédia na unidade de produção de F3455 da planta da DuPont.

b) **Vazamento de oleum:** Não foram identificadas falhas em relação a esse elemento no segundo acidente.

c) **Vazamento de fosgênio:** No terceiro acidente, da liberação de fosgênio na planta de SLM, também fica claro o desalinhamento com uma cultura de segurança. O *Near Miss* deixou de ser reportado no dia, por não haver um supervisor presente na unidade. Apesar disso, o incidente deveria ter sido reportado para qualquer outro supervisor da planta, o que poderia levar a uma pronta investigação e consequentemente, prevenido a liberação de fosgênio que culminou em morte. Faltou uma comunicação aberta e efetiva para que a resposta ao incidente fosse a mais rápida possível. Os funcionários devem sempre se referir a uma liderança experiente quando necessário. Além disso, o próprio fato de os trabalhadores estarem executando um procedimento não previsto, para não ter que parar a operação, indica falta de priorização da segurança.

5.2.2. Conformidade com Padrões

O segundo elemento do primeiro bloco aborda o sistema de padrões que uma empresa deve ter em seu gerenciamento da segurança, e o que deve ser considerado dentro dele. Ele deve conter padrões internos que respeitem normas externas, como leis, regulações ou códigos aplicáveis, ou ser até mais rigoroso. Um sistema bem elaborado é de suma importância, pois interage com todos os outros elementos do RBPS, ajudando a empresa a operar uma planta com segurança, e a cumprir com obrigações legais. Para tal, é importante que o sistema seja claro, e esteja disponível facilmente para quem necessitar dele.

As atividades específicas desse elemento são voltadas a manutenção do sistema de padrões da empresa. As ações que visam manter a conformidade com os padrões estão definidas em outros elementos que serão discutidos mais a frente, como o elemento "Auditorias". O sistema de padrões define os meios e a forma de comunicação do status de conformidade com a gerência, e também com órgãos externos quando aplicados. Tal sistema deve ser elaborado por funcionários competentes, e revisto quando necessário, para cumprir com novas legislações aplicáveis ou níveis internos de exigência de segurança.

a) **Vazamento de cloreto de metila:** A análise dos acidentes da planta de Belle mostrou que a DuPont tinha padrões e normas de segurança, mas alguns se mostraram falhos, ou simplesmente não eram seguidos ou aplicados. No primeiro

acidente, por exemplo, os funcionários foram acostumados a ignorar um alarme por causa de uma falha recorrente, o que já configura como um desvio dos padrões. Mesmo depois que da falha ser solucionada, a atitude não mudou. O próprio sistema de gerenciamento de mudanças da companhia não previa um treinamento ou reeducação dos trabalhadores pela troca ocorrida ter sido considerada sutil. No caso, ou a companhia falhou na classificação, ou ela deveria atualizar os padrões para considerarem alguma forma de comunicação de uma mudança sutil.

b) **Vazamento de oleum:** Não foram identificadas falhas em relação a esse elemento no segundo acidente.

c) **Vazamento de fogsênio:** No terceiro acidente, a falta de conformidade com os padrões foi ainda maior. No projeto da unidade de SLM, foram descumpridos os padrões internos na escolha da mangueira, que ofereciam três opções, nenhuma das quais foram escolhidas. Além disso, o sistema que indicava quando a mangueira deveria ser trocada não estava funcionando, o que ocasionava em trocas irregulares, impedindo a garantia da conformidade com o padrão de 30 dias. Por fim, os funcionários desempenhavam operações não descritas nos procedimentos padrões da empresa. Todos esses fatos indicam falhas no sistema, e descumprimento dele no projeto e execução da unidade.

5.2.3. Competência em Segurança de Processo

Para que uma organização possa realmente se comprometer com a segurança de processos, é necessário desenvolver e sustentar uma competência no assunto. Uma empresa deve sempre buscar novos conhecimentos para os empregados e garantir que a informação seja facilmente acessada para aprimorar a competência em segurança.

Para atingir o nível desejado de competência, a organização precisa estar em constante aprendizado. Para aumentar o aprendizado, deve-se ter objetivos e um planejamento claro, com um orçamento para tal. Os funcionários devem entender claramente os benefícios que os objetivos, quando alcançados, trazem para a corporação, incluindo eles. Além das ações específicas de aprendizado, a competência em segurança deve ser mantida nos procedimentos operacionais da

empresa. Toda tecnologia ou procedimento deve ter um responsável competente, alguém que gerencie o conhecimento específico, o documento e garanta a sua acessibilidade. Ele também deve aplicar o conhecimento de segurança e repassá-lo quando houver a sua substituição.

a) **Vazamento de cloreto de metila:** A falta de competência em segurança foi evidenciada no primeiro acidente duas vezes. A primeira foi no projeto da tubulação de ventilação, em que o responsável não levou em consideração os perigos de posicionar o weep hole dentro de uma edificação, sendo os potenciais gases ventilados pelo sistema eram tóxicos. A segunda vez foi na atitude dos funcionários da planta, que não reconheciam os perigos de ignorar alarmes. A investigação da CSB (2011) encontrou, inclusive, documentos de auditorias da própria DuPont de 2007, três anos antes, que identificaram o problema de alarmes acionados no painel de controle e os perigos associados, e recomendaram uma revisão. Tal revisão foi cumprida, mas os funcionários continuaram a ignorar alarmes ativos.

b) **Vazamento de oleum:** Não foram identificadas falhas em relação a esse elemento no segundo acidente.

c) **Vazamento de fosgênio:** No terceiro acidente, a DuPont demonstrou ter o conhecimento necessário para o projeto da planta SLM e sua operação, mas os funcionários diretamente envolvidos não demonstraram competência em suas decisões. A DuPont tinha o conhecimento dos materiais necessários em um processo envolvendo fosgênio, que estavam devidamente documentados nos padrões. O responsável da planta de Belle também recebeu uma recomendação direta de um especialista corporativo, e mesmo assim escolheu uma mangueira inadequada.

5.2.4. Envolvimento da Força de Trabalho

O quarto elemento do primeiro pilar do RBPS discorre sobre o envolvimento da força de trabalho, necessário para que todos os outros elementos sejam eficientes. Todo e qualquer trabalhador na empresa deve ter um papel e responsabilidades no sistema de gerenciamento de segurança. Sempre deve haver alguém competente, com o conhecimento necessário de segurança do processo ou da tecnologia, envolvido.

Apesar de ser necessário pessoas com papéis específicos em segurança, a contribuição de qualquer outro funcionário nunca deve ser descartada. A organização deve estimular a participação de todos, disponibilizando maneiras, sistemas concretos para a contribuição. Como todo sistema, ele deve ser monitorado e revisto para avaliar se a participação da força de trabalho está sendo realmente eficiente, e os resultados desse sistema devem ser divulgados abertamente.

A partir dos dados do relatório da CSB, não foi possível concluir acerca desse elemento.

5.2.5. Relação com Stakeholders

Por último, o bloco “Se Comprometer com a Segurança de Processos” aborda a importância de se manter uma boa relação com diferentes *Stakeholders*. Eles são qualquer parte interessada que possa vir a ser afetada pelas operações da planta química, ou autoridades e grupos de indústrias locais que possam contribuir com a segurança, ou a fiscalizam. Nesse envolvimento, a corporação precisa deixar claro quais são os seus produtos e processos, e quais os riscos e perigos potenciais dos mesmos.

Para ter sucesso, a relação com diferentes *stakeholders* deve ser uma atividade designada e descrita para cargos competentes, que tenham a obrigação de implementar uma comunicação eficiente e consistente. Essa atividade deve incluir o mapeamento das partes interessadas, e o engajamento com elas vai depender da sua importância, ou do potencial impacto que algum evento de segurança da planta possa ocasionar. Uma planta que tenha uma comunidade grande em sua proximidade, e que conduza operações com risco potencial de causar danos externos necessita de um engajamento maior com terceiros do que uma planta isolada.

O engajamento com terceiros não é exclusivamente para se antecipar a possíveis malefícios que uma planta química possa causar, mas ele também pode trazer benefícios. O relacionamento com grupos de indústrias, por exemplo, pode trazer aprendizados de acontecimentos em processos parecidos, sem que a companhia precise sofrer com algo parecido. O último ponto desse elemento afirma

que o relacionamento deve ser um compromisso efetivo, com acompanhamento e documentação das ações.

- a) **Vazamento de cloreto de metila:** Não foram identificadas falhas em relação a esse elemento no primeiro acidente.
- b) **Vazamento de oleum:** Não foram identificadas falhas em relação a esse elemento no segundo acidente.
- c) **Vazamento de fosgênio:** Nos acontecimentos da planta de Belle, houve um problema específico de relacionamento com terceiros durante o terceiro acidente. A comunicação externa com os socorristas da vítima de intoxicação foi ineficiente, pois eles não foram informados sobre a liberação de produtos químicos. Como essa falha ocorreu durante uma emergência, ela será mais bem discutida no elemento Gerenciamento de Emergências.

5.3. Segundo Bloco – Entender Perigos e Riscos

A ideia proposta pelo CCPS é basear o sistema de gestão de segurança de processos de uma empresa em riscos. Dessa forma, esse bloco é fundamental, e pode ser considerado o mais importante dentre os quatro. Ter o conhecimento dos processos químicos bem gerido e analisar os riscos pertinentes a eles permite a uma organização estruturar e priorizar atividades de segurança de acordo com a ameaça existente. Assim é possível alocar os recursos existentes da melhor forma possível, garantindo uma operação segura sem comprometer o seu sucesso como um negócio.

5.3.1. Gestão de Conhecimento de Processos

Um sistema de gestão de conhecimento é a maneira com que uma empresa desenvolve e armazena todo o conhecimento sobre os seus processos. Ter um sistema eficiente é ideal para conseguir entender todos os perigos e riscos de uma operação. As atividades envolvem todo o registro de documentos técnicos e informações dos processos químicos. Esse conhecimento necessita de um entendimento e aplicação correta, por alguém competente, estando assim atrelado ao elemento de “Competência em Segurança de Processos”.

As informações devem ser sempre atualizadas por um funcionário competente, e apenas as mais recentes devem ser disponibilizadas ao restante do pessoal. Dados ultrapassados devem ser guardados, mas não acessíveis a qualquer um. Por isso, manter um sistema eficiente requer um esforço contínuo. Para que esse esforço valha a pena, todos os funcionários devem ser capacitados a encontrar facilmente informações relevantes quando necessário, e elas devem estar bem estruturadas e com uma linguagem clara.

A documentação do conhecimento dos processos da planta de Belle da DuPont parecia estar adequada. A investigação da CSB não relatou dificuldades em encontrar as informações necessárias, e não identificou falhas em documentos. Por isso, a planta de Belle não apresentou falhas em relação a esse elemento.

5.3.2. Identificação de Perigos e Análise de Risco

Identificar e analisar os riscos de uma operação permite que uma organização administre bem os seus recursos, focando nas maiores ameaças. Assim, esse elemento pode até ser considerado uma base para o desenvolvimento de outros. Ele envolve todas as atividades de identificação dos perigos e avaliação dos riscos de uma unidade. De acordo com CCPS (2014), a primeira pergunta que deve ser feita é: “Quais são os perigos ou possíveis cenários acidentais dos processos químicos envolvidos?” Respondido isso, a análise de risco envolve mais duas: “Qual a frequência que isso pode ocorrer?” E “qual a gravidade?” Devem ser considerados os possíveis impactos a qualquer pessoa, seja da empresa ou não, e ao meio ambiente próximo ao local.

O sistema de avaliação de risco deve ser bem definido, incluindo o escopo do que será analisado, e quais equipamentos físicos estarão incluídos na análise. As atividades devem envolver funcionários com competência, que entendam o processo e os perigos associados a ele. Todos os riscos avaliados serão utilizados como base para as decisões acerca da segurança de um processo, e quais controles e barreiras serão escolhidos para mitigar esse risco. Qualquer risco residual, ou seja, o risco remanescente mesmo após a aplicação dos controles, deve ser devidamente documentado, e deve ser traçado um plano para lidar com ele em eventuais emergências, como será visto no elemento “Gerenciamento de Emergências”. É de

suma importância que os resultados desse estudo sejam comunicados internamente e, se aplicável, externamente. As análises de risco de uma unidade produtora devem ser feitas antes do início de sua operação, e devem ser revistas periodicamente, ou quando houver alguma mudança significativa.

Um estudo possível a ser feito é uma Análise Preliminar de Perigo (APP). Ela envolve a avaliação qualitativa de cenários de potenciais perigos, suas possíveis causas e efeitos. Dependendo do efeito, ele pode ser classificado dentro de algumas categorias de severidade (VAZ JÚNIOR, 2019). Um exemplo de categorização de severidades está representado na Tabela 2 abaixo, enquanto a Tabela 3 traz um exemplo de tabela para APP. Outra possibilidade é uma análise preliminar de risco, similar à APP, mas que associa um risco a cada cenário, classificado não só de acordo com a sua severidade, mas incluindo também a sua probabilidade.

Tabela 2 - Categorias de Severidade de uma APP

Categoria de severidade	Efeitos
I – Desprezível	Nenhum dano ou dano não mensurável.
II – Marginal	Danos irrelevantes ao meio ambiente e à comunidade externa.
III – Crítica	Possíveis danos ao meio ambiente devido a liberações de substâncias químicas tóxicas ou inflamáveis, alcançando áreas externas à instalação. Pode provocar lesões de gravidade moderada na população externa ou impactos ambientais com reduzido tempo de recuperação.
IV - Catastrófica	Impactos ambientais devido a liberações de substâncias químicas, tóxicas ou inflamáveis, atingindo áreas externas às instalações. Provoca mortes ou lesões graves na população externa ou impactos ao meio ambiente com tempo de recuperação elevado.

Fonte: CETESB, 2011.

Tabela 3 - Modelo de Tabela para APP

Perigo	Causa	Efeito	Categoria de severidade	Observações e recomendações

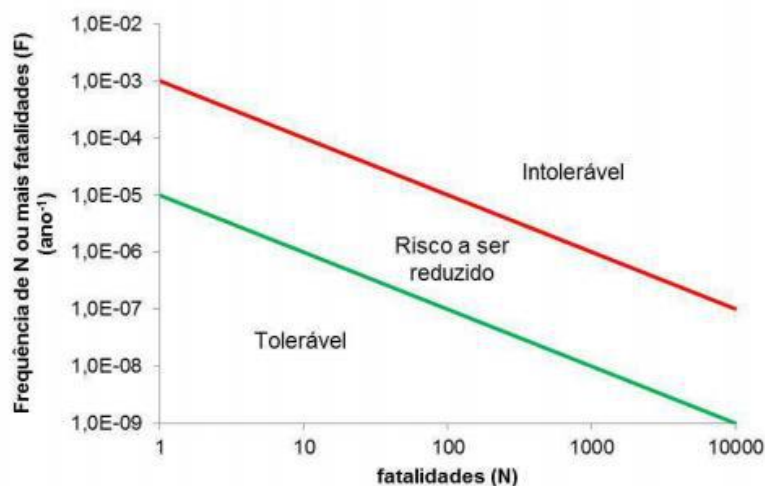
Fonte: CETESB, 2011.

Outro tipo de análise possível é uma Análise Quantitativa de Risco (AQR). Os métodos quantitativos utilizam dados numéricos para quantificar o risco, utilizando por exemplo probabilidades e taxas de falha. Taxa de falha é o número de vezes que ocorre uma falha em um determinado equipamento por unidade de tempo (VAZ

JÚNIOR, 2019). A partir da determinada falha, pode-se estimar o número de fatalidades decorrentes e chegar assim, a um número de fatalidades por tempo de um certo evento. Por exemplo, se uma explosão de um determinado tanque acontecesse a cada 100 anos, e esse evento resultasse em 10 mortes, você teria uma taxa de fatalidade de 0,1 mortes por ano, ou 1 morte a cada 10 anos.

Muitas empresas utilizam taxas de fatalidade de um determinado evento como um critério de tolerabilidade. Uma curva F-N, que plota a frequência de um determinado cenário com a número de fatalidades dele pode ser utilizada para exemplificar os riscos toleráveis, os que precisam ser reduzidos e os intoleráveis. Se o risco de um processo for intolerável, ele não deverá continuar operando antes que seja reduzido. Um exemplo de curva F-N pode ser visto na Figura 10:

Figura 10 - Exemplo de Curva F-N



Fonte: CETESB, 2011.

- a) **Vazamento de cloreto de metila:** Não foram identificadas falhas em relação a esse elemento no primeiro acidente.
- b) **Vazamento de oleum:** Não foram identificadas falhas em relação a esse elemento no segundo acidente.
- c) **Vazamento de fosgênio:** No projeto do galpão de armazenamento dos cilindros de fosgênio, foi feita uma análise de risco para a escolha da melhor opção. Foi realizada uma análise quantitativa do risco de fatalidades acontecerem dentro e fora da unidade, em um período de dez mil anos. Como citado anteriormente, os casos

avaliados foram: (1) utilizar cilindros de fosgênio com alimentação líquida para o processo; (2) vaporizar o fosgênio armazenado nos cilindros; (3) produzir o fosgênio no local em uma unidade aberta para a atmosfera; (4) enclausurar a unidade de produção e instalar um lavador de gases. A tabela abaixo mostra o resultado da análise:

Tabela 4 - Análise de Risco Feita pela DuPont

	Fatalidades dentro da unidade em 10.000 anos	Fatalidades fora da unidade em 10.000 anos
Caso 1	244	10,5
Caso 2	154	0,22
Caso 3	16,7	0,007
Caso 4	2,3	0,006

Fonte: Adaptado de CSB, 2011

A DuPont definia como meta não obrigatória ter uma taxa de fatalidades igual ou inferior a uma morte a cada dez mil anos. Nenhum dos quatro casos avaliados atingia essa meta, mas a análise havia concluído que o custo de passar do caso 3 para o 4 era de 2 milhões de dólares, muito alto comparado ao benefício que trazia. Dessa forma, a opção 3 acabou sendo escolhida para o projeto, mas esse acabou sendo adiado. A opção 2 ficou como temporária.

Diversas análises de risco feitas pela empresa constataram o problema, e recomendaram a retomada do projeto. Foram quatro adiamentos no total, e a recomendação nunca foi cumprida. Esse é um dos diversos exemplos em que a DuPont foi capaz de perceber um problema dentro da planta de Belle, mas não foi capaz de seguir a sua própria recomendação. Uma dessas análises de risco, feita em 2009, constatou também casos de corrosão localizada na mangueira de transferência de fosgênio, mas falhou em fazer uma recomendação de troca.

Poderia se dizer que a DuPont foi competente nesse elemento, pois foi capaz de fazer análises e identificar os riscos das suas operações. Apesar disso, uma análise de risco não tem utilidade caso as suas recomendações não sejam cumpridas. Dessa forma ambos os casos, do projeto da unidade de SLM e da corrosão identificada nas

mangueiras, constituem uma falha do elemento de “Identificação de Perigos e Análise de Risco”.

5.4. Terceiro Bloco – Gerenciar Riscos

Depois do comprometimento com a segurança de processos, e de entender os riscos de uma operação, é necessário gerenciar corretamente esses riscos. A empresa precisa operar os processos com prudência e alterá-los quando necessário, de forma a manter os níveis de risco toleráveis, além de se preparar para responder a eventos de segurança inevitáveis. Assim o sistema de gerenciamento irá ajudar a manter uma operação segura e rentável a longo prazo. Os nove elementos que compõem o terceiro bloco do RBPS estão descritos abaixo.

5.4.1. Procedimentos Operacionais

Os procedimentos operacionais são instruções escritas que descrevem todas as etapas necessárias para uma determinada tarefa, e a maneira correta que elas devem ser executadas. Bons procedimentos incluem a descrição do processo químico para que os operadores possam entender todos os perigos e tomar as medidas necessárias antes de realizar a tarefa. As informações também devem conter qualquer revisão de risco feita, as possíveis consequências de não seguir corretamente todos os passos, as instruções para lidar com qualquer desvio da normalidade do processo, os momentos em que uma parada emergencial deve ser realizada, e potenciais situações especiais.

Esse elemento do RBPS visa garantir a elaboração, a revisão e o uso consistente dos procedimentos operacionais. Ele aborda apenas as tarefas relacionadas à inicialização, à operação e ao desligamento de um processo. Outras operações, referentes a manutenção, limpeza e outros aspectos, são abordadas em outros elementos como o “Práticas de Trabalho Seguro” e “Integridade de Ativos e Confiabilidade”.

Um sistema de gestão eficiente garante que todos os procedimentos são documentados e estão disponíveis em nível suficiente de detalhe, a depender do conhecimento dos trabalhadores envolvidos. Poucos detalhes impedem um entendimento completo, mas muitos detalhes podem complicar a utilização das

instruções. Dessa forma, as operações poderão ocorrer de forma consistente, independente de quem a estiver conduzindo, o que traz mais confiabilidade e facilita a identificação de erros, perigos e possíveis melhorias.

Depois de elaborados, os procedimentos operacionais devem ser postos a prática. Eles devem ser utilizados durante o treinamento dos trabalhadores, que devem entender que são responsáveis por seguir as instruções sempre. Os procedimentos devem estar sempre disponíveis, no formato adequado, no local em que a tarefa será realizada. Deve-se reforçar constantemente a importância de utilizar os procedimentos, de forma com que trabalhadores experientes não os usem somente como referência em casos específicos, e sempre atualizar o material quando houver mudanças nos processos, tecnologia, ou simplesmente quando uma melhoria for identificada.

- a) **Vazamento de cloreto de metila:** Não foram identificadas falhas em relação a esse elemento no primeiro acidente.
- b) **Vazamento de oleum:** Não foram identificadas falhas em relação a esse elemento no segundo acidente.
- c) **Vazamento de fosgênio:** O último da série de acidentes do dia 23/01/2010 é um exemplo claro em que este elemento do RBPS falhou no sistema de gestão de segurança da DuPont. A empresa possuía um documento com os procedimentos operacionais para as operações de ativação do fluxo e troca dos cilindros de fosgênio, como foi mencionada no relatório da CSB (2011). Apesar disso, os funcionários da unidade realizaram uma outra operação, não prevista, para que o processo não fosse interrompido.

Como uma análise de risco em 2009 não identificou o risco de expansão térmica do fosgênio na mangueira de transferência do cilindro ao processo, ele não estava descrito nos procedimentos operacionais. Dessa forma, os funcionários não tinham a consciência das possíveis consequências de conduzir operações não previstas. Caso essa informação estivesse disponível, talvez os trabalhadores tivessem tido outra atitude.

Mesmo não tendo esse detalhe acessível, não era esperado que alguém conduzisse uma operação não prevista. Por isso, é provável que os funcionários da DuPont não estivessem devidamente treinados, e conscientes das possíveis consequências de se desviar dos procedimentos operacionais. Assim, além da atualização dos documentos, seria necessária alguma ação de conscientização por parte da empresa.

Desvios de procedimentos operacionais são causas frequentes de acidentes na indústria química. O acidente da BP, mencionado na análise do elemento “Cultura de Segurança de Processos” é um exemplo disso, em que operar uma coluna acima do nível normal, durante um processo de reinício de uma unidade, ocasionou uma tragédia.

Outro exemplo relacionado é o acidente ocorrido em uma unidade de esterilização da Sterigenics em 2004. A empresa utilizava um gás altamente inflamável, o óxido de etileno, para esterilizar equipamentos médicos dentro de câmaras fechadas, com paredes e portas de aço reforçado. Para poder abrir a câmara depois de uma esterilização, o ar contendo o óxido de etileno era lavado diversas vezes. A lavagem incluía a injeção de uma mistura de ar atmosférico e nitrogênio e a ventilação dos gases para um *scrubber*. Esse processo era repetido até que concentração de óxido de etileno dentro da câmara baixasse a níveis não explosivos. Quando a porta era aberta, uma etapa adicional de lavagem era feita automaticamente, em que os gases eram ventilados até um oxidador térmico. Durante um teste, uma operação não rotineira, os operadores resolveram não seguir os procedimentos operacionais ao não repetir a lavagem com nitrogênio múltiplas vezes. Dessa forma, quando a porta foi aberta, os gases, ainda contendo uma concentração explosiva de óxido de etileno, foram ventilados até o oxidador térmico, e ao entrarem em contato com as chamas, ocasionaram uma explosão, ferindo 4 trabalhadores. (CSB, 2007)

Esses dois acidentes trazem uma noção maior da importância de seguir corretamente o elemento “Procedimentos Operacionais” de um sistema de segurança. Conduzir atividades que não foram estudadas é especialmente perigoso, pois não há noções acerca dos riscos e de qualquer barreira ou controle necessários para impedi-

los ou mitigá-los. Tendo isso em mente, um sistema de gerenciamento de segurança deve ser flexível o suficiente para permitir alterações quando necessário. Se um procedimento operacional se tornar um incômodo, a razão deve ser investigada. Pode ser que equipamentos, manuais ou até o próprio procedimento estejam errados ou obsoletos, necessitando de alteração.

5.4.2. Práticas de Trabalho Seguro

O segundo elemento do terceiro bloco do RBPS aborda os procedimentos considerados não operacionais, como as atividades de manutenção de uma planta e outras operações não rotineiras. As “Práticas de Trabalho Seguro” visam controlar os riscos associados a essas atividades. Os trabalhos de manutenção mais comuns envolvem a testagem, inspeção, calibração e reparo de equipamentos do processo.

Um escopo claro deve ser definido, identificando as atividades em que as práticas de trabalho seguro irão ser aplicadas. Cada atividade não rotineira terá a sua especificidade, e deve ter definido os cargos responsáveis por sua autorização e realização, além do momento necessário de ser implementada. Como todos os outros elementos do RBPS, esse também exige uma efetiva documentação, implementação e treinamento de pessoal, para que de fato tenha impactos na segurança da operação de uma planta.

Não houve falha em relação a esse elemento em nenhum dos três acidentes analisados da planta de Belle.

5.4.3. Integridade de Ativos e Confiabilidade

A integridade de ativos e confiabilidade é o elemento que assegura que os equipamentos de um processo são devidamente projetados, instalados e mantidos ao longo de sua operação. O intuito é, primeiramente, prevenir uma liberação de energia ou materiais que possam ser danosos ao meio ambiente ou aos seres humanos. Em segundo lugar, o elemento visa garantir a disponibilidade de controles e recursos que mitiguem os potenciais efeitos negativos de eventos do tipo. Atividades tipicamente desempenhadas são por exemplo testes, inspeções e a manutenção de equipamentos para garantir que eles estejam adequados para a operação desejada.

Para manter a integridade dos ativos e a confiabilidade dos processos, deve ser estabelecido um programa formal, com políticas e atividades a serem conduzidas. Devem ser seguidas tanto as normas internas da empresa quanto normas de autoridades e entidades competentes. Os procedimentos das ações de inspeção, testes e manutenção preventiva (ITPM) necessitam ser bem descritos, documentados e atualizados.

As atividades desse elemento devem ser bem planejadas, e sistemas que garantam a sua execução periódica são necessários. No caso de ocorrerem falhas ou serem identificadas deficiências em equipamentos críticos, o pronto reparo ou substituição não basta. Tais acontecimentos devem ser investigados. Todos os dados precisam ser coletados e bem analisados, e ações corretivas devem ser implementadas. De acordo com o CCPS (s.d.), equipamento crítico é todo “equipamento, instrumentação, controle ou sistema cujo defeito ou falha pode resultar em uma liberação catastrófica de substâncias químicas perigosas.”

Nos acontecimentos da planta de Belle, vemos diversos exemplos em que a integridade dos ativos e a confiabilidade dos processos não foi priorizada pelas atitudes dos funcionários. Os processos utilizavam substâncias perigosas, como o cloreto de metila, altamente inflamável, e o fosgênio, altamente tóxico. Desta forma, os equipamentos envolvidos podem ser classificados como críticos, pois a falha deles tem potencial de causar graves danos a seres humanos.

a) **Vazamento de cloreto de metila:** A escolha da fonte de alimentação de energia do alarme envolvido no acidente de liberação de cloreto de metila se mostrou bastante problemática. Falhas constantes no equipamento afetaram a confiança dos operadores no mesmo, que passaram a ignorá-lo, e assim reduzindo a confiabilidade do sistema de segurança da unidade de produção de F3455. Também foi constatado que o disco de ruptura da tubulação de ventilação dos gases da unidade não era trocado em manutenções preventivas. Tal equipamento deveria estar incluído no programa devido a sua fragilidade.

b) **Vazamento de oleum:** Na unidade de SAR, houve uma falha na hora da definição dos equipamentos que deveriam ser incluídos no programa de manutenção preventiva. A tubulação de oleum não foi considerada inicialmente, e depois do

vazamento de 18 kg ocorrido em 2009, houve a recomendação da inclusão no programa, mas tal recomendação nunca foi concluída.

c) **Vazamento de fosgênio:** A unidade de SLM foi a mais problemática em relação a esse elemento. A primeira falha foi na própria escolha do material da mangueira. Não era possível garantir a integridade de uma linha de PTFE em uma operação com fosgênio, uma substância altamente corrosível. Essa escolha equivocada foi inclusive constatada durante o planejamento inicial, e até durante a auditoria de 2006. A mesma auditoria constatou, inclusive, corrosão nas mangueiras de transferência, mas não recomendou uma troca do material selecionado. Dessa forma, a DuPont falhou em garantir a integridade dos ativos da unidade.

A segunda falha foi no programa de ITPM, mais especificamente no controle que garantia a sua execução. Quando o sistema de troca de mangueiras deixou de funcionar, elas ficavam muito mais tempo em operação do que era seguro. A mangueira que falhou catastróficamente estava em operação por 6 meses, quando o cronograma de troca original era de 30 em 30 dias. Alguma redundância no sistema poderia ter evitado o acidente.

5.4.4. Gestão de Terceirizados

Empresas muitas vezes terceirizam certas atividades, normalmente por precisar de um conhecimento técnico muito específico, ou para desempenhar atividades que não sejam fim, como limpeza e segurança patrimonial. Outro exemplo é para paradas de manutenção, que envolvem operações intensas e necessitam de um número elevado de pessoas por um período curto de tempo. Por não serem tão familiarizados com os processos das empresas, trabalhadores terceirizados podem oferecer riscos. Esse elemento visa garantir que eles possam desempenhar as suas tarefas adequadamente, e que um serviço terceirizado não traga mais riscos a uma operação do que funcionários próprios trariam.

A escolha das empresas prestadoras de serviços é uma atividade crítica para o bom funcionamento desse elemento. A sua seleção deve estar atrelada diretamente a uma avaliação prévia, com consulta ao histórico e reconhecimento no mercado. Os funcionários terceirizados também devem estar incluídos em programas de

treinamento, e devem ter responsabilidades de segurança bem definidas enquanto estão prestando o serviço. Por fim, o sistema de gestão de terceirizados deve ser sempre monitorado e reavaliado para garantir que ele ainda esteja efetivo.

a) **Vazamento de cloreto de metila:** Não foram identificadas falhas em relação a esse elemento no primeiro acidente.

b) **Vazamento de oleum:** O único envolvimento de um terceirizado, identificado nos acontecimentos de 23/01/2010, foi durante a investigação do vazamento de oleum. De acordo com CSB (2011), uma entrevista com o engenheiro responsável por incluir a tubulação de oleum no programa de manutenção preventiva concluiu que tal recomendação não foi concluída. O motivo foi uma falta de comunicação entre ele e a equipe responsável pelo programa, que era terceirizada. Apesar da manutenção ser responsabilidade da empresa de serviços contratada, o engenheiro da DuPont falhou em seu trabalho, que incluía a supervisão dos funcionários terceiros, e deixou com que a recomendação não fosse implementada por um ano.

c) **Vazamento de fosgênio:** Não foram identificadas falhas em relação a esse elemento no terceiro acidente.

5.4.5. Treinamento e Garantia de Desempenho

O quinto elemento tem grande relevância em um sistema de gerenciamento de segurança, exatamente por estar relacionado com praticamente todos os outros do RBPS. Todos os elementos necessitam de treinamento para que a força de trabalho os entenda, e também de uma garantia de desempenho. O treinamento é a instrução prática sobre o método e os requisitos necessários para a realização de uma tarefa. Ele garante a proficiência necessária para que os trabalhadores desempenhem certas funções. A garantia de desempenho é o processo contínuo que assegura que os níveis de performance estejam sendo cumpridos, e que avalia a necessidade de treinamentos adicionais.

Como é recorrentemente citado no RBPS, a alocação eficiente de recursos é de extrema importância. Para tal, é necessário mapear os processos críticos e avaliar onde é necessário treinamento. Um caso claro é quando é identificado alguma lacuna entre o conhecimento de um funcionário e o conhecimento necessário para

desempenhar uma tarefa. O programa de treinamento deve ser propriamente e detalhadamente documentado, e o sistema de garantia de desempenho deve ter diversas frentes, como testes teóricos de conhecimento e observações ou auditorias durante operações diárias. Tal sistema deve servir para identificar falhas de performance relacionadas a qualquer causa, e não somente decorrentes de treinamentos inadequados.

Uma forma de planejar treinamentos para desenvolver a competência dentro de uma organização é criando uma matriz de treinamento. A matriz irá definir cursos necessários para cada posição, e a proficiência atrelada. A Figura 11 abaixo mostra um exemplo de matriz. Os cruzamentos entre os cargos e os cursos define a proficiência necessária, que pode ser separada em 3 níveis: N1 – conhecimento básico; N2 – profissional praticante; N3 – líder. NA indica que aquela posição não necessita do determinado curso. (DINIZ, 2017)

Figura 11 - Matriz Tridimensional de Treinamento

Exemplo de Matriz Tridimensional de Treinamento		Cargo ou Posição	Produção			Engenharia		
			Operador	Coordenador de Operação	Ponto Focal de Segurança de Processos	Engenheiro de Processos	Engenheiro de Automação	Engenheiro de Instrumentação
Pilar de Segurança de Processos da CCPS	Descrição do Curso de Treinamento							
Se Comprometer com Segurança de Processos	Competência em Segurança de Processos	N3	N3	N3	N3	N3	N3	
	Prevenção de Perdas e Imagem da Corporação	N1	N2	N3	N2	N2	N2	
	Segurança de Processos para <i>Stakeholders</i>	N1	N1	N3	N1	N1	N1	
Entender Perigos e Riscos	Análise Qualitativa de Risco	NA	NA	N3	N3	N1	N1	
	Análise Quantitativa de Risco	NA	NA	N3	N2	NA	N3	
	Localização de Unidades para Projetos e Instalações	NA	NA	N3	N2	NA	NA	
Gerenciar Riscos	Procedimentos Operacionais	N3	N3	N2	N1	N1	N1	
	Integridade de Ativos e Confiabilidade	NA	NA	N2	N2	N3	N3	
	Gerenciamento de Mudanças	N1	N1	N3	N2	N1	N1	
Aprender com a Experiência	Metodologia de Investigação de Acidentes	N1	N1	N3	N3	N1	N1	
	Gerenciamento de Indicadores de Segurança de Processos	NA	NA	N3	N3	NA	NA	
	Auditorias de Barreiras de Segurança	NA	NA	N3	N3	N1	N1	

Fonte: Adaptado de Diniz, 2017

O documento da CSB cita mais de uma vez auditorias feitas, que tinham como foco diversos fatores, incluindo treinamento. Assim, é possível concluir que a planta de Belle tinha um programa de treinamento estabelecido, e realizava atividades para garantir o desempenho. Mas isso não impediu a identificação de falhas nesse elemento.

a) **Vazamento de cloreto de metila:** Na unidade de F3455, os funcionários não foram devidamente treinados depois da troca que ocorreu no sistema de alimentação de energia do alarme associado ao disco de ruptura. Dessa forma, eles continuaram o ignorando. O motivo da troca foi exatamente a confiabilidade em relação à barreira de segurança. Se a confiabilidade foi restaurada, todos envolvidos deveriam ser propriamente informados.

b) **Vazamento de oleum:** Não foram identificadas falhas em relação a esse elemento no segundo acidente.

c) **Vazamento de fosgênio:** A falha desse elemento em relação à unidade SLM é relacionada a pronta investigação de acidentes. Como mencionado anteriormente, a auditoria de 2006 apontou o fato de que investigações de incidentes demoravam a ser iniciadas pelos operadores da unidade. Essa observação gerou uma recomendação, que foi considerada cumprida pelo funcionário responsável. Apesar disso, o fato de um *near miss* deixar de ser investigado no dia do evento de 2010 nos leva a crer que os funcionários não foram devidamente treinados.

5.4.6. Gerenciamento de Mudanças

Management of Change é o elemento que aborda as potenciais mudanças nos processos químicos de uma empresa. Essas mudanças podem acarretar em novos riscos, o que deve ser previamente avaliado. Depois de avaliada, deve haver um procedimento bem definido de avaliação e autorização da mudança antes de sua implementação. Essas atividades são definidas dentro do MOC.

O primeiro passo é constantemente avaliar as atividades para identificar potenciais mudanças que sejam necessárias. Depois de identificada, é necessária uma análise de risco para avaliar os possíveis impactos que essa mudança possa trazer para a segurança operacional. Depois de analisada, deve haver uma aprovação

por algum funcionário competente, que pode aceitar, recomendar alterações ou rejeitar o que foi proposto. Se for aceita, uma mudança irá gerar diversas atividades subsequentes, que incluem a atualização dos documentos e controles de segurança, comunicação adequada aos trabalhadores afetados, e por fim o devido registro das alterações feitas no sistema de MOC.

a) **Vazamento de cloreto de metila:** A mudança na fonte de alimentação do alarme associado ao disco de ruptura é uma falha clara desse elemento. A comunicação aos funcionários sobre a mudança, que deveria fazer com que eles parassem de ignorar o alarme, claramente não foi efetiva. A CSB argumenta que o motivo disso foi a classificação da troca como troca sutil ao invés de MOC-T, pois a última incluía um acompanhamento posterior mais extenso, com treinamento obrigatório. A troca sutil apenas teria um treinamento posterior a critério do líder da operação.

b) **Vazamento de oleum:** Não foram identificadas falhas em relação a esse elemento no segundo acidente.

c) **Vazamento de fosgênio:** Não foram identificadas falhas em relação a esse elemento no terceiro acidente.

5.4.7. Prontidão Operacional

Garantir a inicialização segura de um processo após uma parada é o escopo do sétimo elemento do terceiro bloco do RBPS. Paradas são comuns na indústria, sejam elas programadas para manutenção preventiva, ou não programadas, por razões comerciais ou até emergenciais. As condições de operação de uma reinicialização não são iguais às condições normais, por isso a necessidade desse elemento. Algumas atividades conduzidas durante paradas podem acarretar em riscos para o processo, o que também deve ser levado em conta.

A avaliação feita em uma atividade de prontidão operacional deve ser minuciosa para inicializações complexas, mas flexível para processos mais simples. É necessário um procedimento bem definido, e é importante que o desejo financeiro por uma inicialização rápida não interfira com a segurança do processo. As atividades

devem gerar produtos factíveis, como *checklists* que sejam documentadas e estejam disponíveis para consultas posteriores.

a) **Vazamento de cloreto de metila:** Como descrito anteriormente, o alarme do disco de ruptura da tubulação de ventilação do processo de F3455 foi acionado em 21/12/2009, durante uma parada de manutenção da unidade. Tal alarme não foi endereçado na hora, pois a atividade realizada era propensa a ativá-lo, e não representava um risco. O problema foi que tal situação não foi revista antes da reinicialização. Já foi concluído que os funcionários estavam acostumados a ignorar alarmes, mas é possível concluir também que não foi feito um procedimento adequado de prontidão operacional. Caso contrário, alarmes ativos teriam sido identificados, configurando uma situação imprópria para retorno às operações normais.

b) **Vazamento de oleum:** Não foram identificadas falhas em relação a esse elemento no segundo acidente.

c) **Vazamento de fosgênio:** Não foram identificadas falhas em relação a esse elemento no terceiro acidente.

5.4.8. Conduta das Operações

Esse elemento tem como foco desenvolver e sustentar padrões altos para a condução das operações de uma empresa. A conduta é a execução de tarefas operacionais e gerenciais em uma maneira estruturada e pensada. Dessa forma, está diretamente ligada com a cultura de segurança da organização, e atrelada assim, a diversos outros elementos do RBPS. Com a “Conduta das Operações”, a busca pela excelência e consistência operacional é oficializada no sistema de gerenciamento da segurança dentro de uma organização.

Um programa eficiente de conduta de operações deve ser bem documentado, definindo responsabilidades a cargos específicos, e as expectativas da organização para seus trabalhadores. Uma má conduta deve ser corrigida, assim como uma boa deve ser reconhecida e até recompensada. O programa irá definir a forma do controle de operações, garantindo que os procedimentos operacionais e práticas de trabalho seguro sejam seguidas, formalizando meios de comunicação entre trabalhadores, diferentes turnos e diferentes grupos, e garantindo o acesso restrito das unidades.

Além disso, também irá definir o controle e status de equipamentos e sistemas, definindo responsáveis específicos para cada, e garantindo também a limpeza, organização, etiquetagem, e iluminação apropriados.

Para que os objetivos descritos sejam cumpridos, os trabalhadores precisam adquirir conhecimento, habilidades específicas e certa destreza. Necessitam estar aptos a reconhecer perigos, questionar e opinar, conferirem as próprias atividades e estarem sempre aprendendo. E por fim, a conduta deve ser sempre monitorada, com responsabilização pelos atos, inspeções recorrentes e correções rápidas de desvios.

Não houve falha em relação a esse elemento em nenhum dos três acidentes analisados da planta de Belle da DuPont.

5.4.9. Gerenciamento de Emergências

De acordo com CCPS (2014), um sistema de gerenciamento de emergências possui 5 etapas:

- i. Se planejar;
- ii. Providenciar recursos para executar o plano;
- iii. Praticar e melhorar o plano constantemente;
- iv. Treinar e informar os empregados e outros envolvidos;
- v. Comunicar eficientemente com *stakeholders* em caso de um incidente.

Durante uma emergência, as emoções das pessoas podem levá-las a fazer escolhas erradas. O planejamento reverte essa tendência. Mas o planejamento em si não é o suficiente. Emergências normalmente são raras dentro de uma planta industrial, então simulações são necessárias para desenvolver uma boa resposta do pessoal. Diferente de outras atividades, não há uma segunda oportunidade para corrigir erros cometidos.

O planejamento está diretamente ligado com o elemento “Identificação de Perigos e Análise de Risco”. Depois de todos os potenciais cenários de risco serem avaliados, devem ser implementados controles de segurança, e em caso de falha, uma resposta de emergência. Essa resposta vai necessitar um procedimento escrito, equipamentos e materiais, um plano de comunicações e possivelmente um time de

resposta, além dos trabalhadores diretos da unidade, devidamente treinados. Depois, os testes do plano devem incluir simulações de resposta e evacuação, exercícios teóricos, práticas de comunicação, e auditorias.

a) **Vazamento de cloreto de metila:** Não foram identificadas falhas em relação a esse elemento no primeiro acidente.

b) **Vazamento de oleum:** Não foram identificadas falhas em relação a esse elemento no segundo acidente.

c) **Vazamento de fosgênio:** A falha identificável desse elemento nos acontecimentos da planta de Belle está na resposta ao terceiro acidente, a liberação de fosgênio. O primeiro problema está no fato das investigações da CSB concluírem que nenhum alarme visual ou sonoro alertou a outros trabalhadores da planta sobre o perigo de se aproximar da unidade de SLM. O segundo foi no contato de outros funcionários com o operador contaminado. Quem o conduziu até a unidade médica da instalação não utilizou nenhum EPI além dos que ele já trajava. Além disso, não houve registro de que a vítima utilizou algum chuveiro para descontaminação, apenas lavou o rosto e as mãos depois de ter sido exposto a fosgênio.

Por fim, a comunicação com os socorristas não foi adequada, por eles não terem sido avisados sobre a natureza do acidente antes de se dirigirem ao local, pondo em risco a própria segurança. Eles não foram informados de que a vítima havia sido exposta a fosgênio, uma substância altamente tóxica, e não tiveram como se preparar adequadamente, correndo risco de exposição. Tal acontecimento levou, inclusive, a uma mudança no procedimento dos socorristas, que não poderiam mais entrar em plantas químicas sem antes ter a confirmação de que não havia riscos de exposição a contaminantes.

A responsabilidade de ligar para a equipe de socorristas era do guarda patrimonial, que ficava na portaria da planta. O guarda não foi avisado da natureza do acidente, e não pode transmitir essa informação aos socorristas. Ele foi questionado especificamente se tinha havido uma liberação de produtos químicos, mas respondeu negativamente. O problema de ele ter essa responsabilidade é que ele não tinha conhecimento do processo, contrariando o quarto elemento do RBPS, que afirma ser

necessário ter pessoas competentes no relacionamento com *stakeholders*. Ele até poderia ter recebido essa informação e a transmitido, mas mesmo assim a comunicação mais eficiente seria entre algum responsável do processo ou da planta diretamente com a equipe socorrista.

De qualquer maneira, o guarda teria alguma responsabilidade na resposta ao acidente, devendo ser propriamente informado para liberar a entrada da ambulância à planta da DuPont. Uma simulação de emergência com contaminação de um funcionário poderia determinar a melhor alternativa entre uma comunicação direta do responsável com os socorristas, ou da inclusão de um intermediário como o guarda patrimonial.

5.5. Quarto Bloco – Aprender com a Experiência

Mesmo tendo todos os elementos descritos anteriormente bem elaborados e sendo seguidos, ainda é possível que ocorram acidentes dentro de uma planta química. Dessa maneira, uma organização deve estar sempre disposta a aprender com seus erros, e até com erros de outras empresas, tornando-os oportunidades para melhorar o seu sistema de gerenciamento de segurança. Esse bloco pretende instituir ações de monitoramento, para que as empresas estejam sempre aprendendo com informações internas e externas. Um foco importante é, além de aprender com incidentes, documentá-los para sempre se recordar deles, e realmente entender a importância da lição. Os quatro elementos que compõe esse bloco estão descritos abaixo.

5.5.1. Investigação de Acidentes e Incidentes

O primeiro elemento tem como foco desenvolver, sustentar e melhorar a competência de uma organização na investigação de acidentes e incidentes. O incidente é alguma ocorrência que tenha potencial de gerar um acidente, com danos a ativos ou pessoas, mas que por alguma razão acabe não gerando. Ambos podem ser classificados como eventos de segurança. É necessário um processo formal estabelecido, que inclui o procedimento, a documentação e o acompanhamento de investigações. Uma equipe especializada é necessária para isso. Dependendo do tamanho da organização, é possível que haja uma equipe cujas funções incluem apenas a investigação de eventos de segurança. Posteriormente, uma análise

profunda dos dados das investigações feitas ajuda a organização a identificar recorrências e gerar recomendações de correção.

O programa de investigações deve conter um processo bem definido. Como não é uma atividade rotineira, o nível de detalhes deve ser maior, e deve haver ao mínimo um especialista nesse elemento conduzindo os demais integrantes. Os papéis dentro da equipe devem ser bem definidos. A organização deve estar constantemente monitorando incidentes que devem ser investigados, pois nem todos são óbvios. As investigações devem ser prontamente iniciadas, com os dados a serem coletados previamente definidos. O foco é encontrar a causa raiz do problema. No final, as conclusões geram recomendações, e elas devem ser completadas, se não todo o processo anterior se torna inútil.

- a) **Vazamento de cloreto de metila:** Não foram identificadas falhas em relação a esse elemento no primeiro acidente.

- b) **Vazamento de oleum:** Em relação ao acidente na unidade SAR, não houve uma falha na realização de uma investigação, mas houve uma falha em implementar uma recomendação decorrida de um acidente anterior. A recomendação de inclusão da tubulação de oleum no programa de manutenção preventiva, gerada pelo vazamento ocorrido no ano anterior, não foi cumprida. Caso contrário, o vazamento de 2010 poderia ter sido prevenido.

- c) **Vazamento de fosgênio:** Já a unidade SLM falhou em prontamente investigar um incidente. Um *Near Miss* foi identificado no mesmo dia do acidente fatal, em um equipamento idêntico ao que falhou posteriormente: a mangueira de fosgênio. O problema foi a atitude dos funcionários de postergar a investigação para dois dias depois, quando houvesse um supervisor presente na unidade. Isso vai diretamente contra esse elemento, que exige investigações logo após ao acontecimento, pois assim a causa raiz pode ser identificada e solucionada.

5.5.2. Métricas e Indicadores

As métricas são indicadores de performance e eficiência utilizadas para monitorar em tempo real, ou o mais próximo disso, a efetividade do sistema de gerenciamento de segurança de uma empresa, seus elementos e atividades. O

elemento “Medição e Métricas” endereça quais indicadores devem ser considerados, a frequência de coleta dos dados e o que fazer com aquela informação. Dados demais podem ser tão ruins quanto nenhum dado, pois fica difícil discernir o que é relevante ou não. Dessa maneira, as organizações precisam definir bem a quantidade e qual o gatilho que irá determinar o registro de uma métrica. Deve haver um sistema eficiente de visualização dos dados para uma análise efetiva, e ela deve ser usada para tomar ações corretivas nos elementos do RBPS monitorados.

De acordo com CCPS (2011), há três tipos de indicadores. O primeiro seria o *lagging indicator* – ou indicador reativo – que avalia por exemplo a frequência de acidentes ocorridos. O segundo é o *leading indicator* – ou indicador proativo – que mede taxas de cumprimento dos elementos de RBPS, como por exemplo o número de vezes em que uma atividade foi executada incorretamente. O terceiro seria o indicador de incidentes, ou *Near Misses*. O terceiro indicador difere do primeiro pela severidade dos eventos de segurança contabilizados. O CCPS (2014) considera os indicadores proativos como os mais apropriados para o acompanhamento do sucesso do sistema de gerenciamento de segurança.

Não houve falha em relação a esse elemento nos acontecimentos da planta de Belle. Um *Near Miss* deixou de ser reportado prontamente, mas o funcionário tinha a intenção de reportá-lo posteriormente. Isso indica que a DuPont provavelmente contabilizava esses eventos como uma métrica. Dessa forma, a falha se deu no elemento anterior, de “Investigação de Acidentes e Incidentes”.

5.5.3. Auditorias

As auditorias servem como complemento para todos os outros controles e atividades de monitoramento do RBPS. Esse elemento visa avaliar criticamente se o sistema de gerenciamento de segurança da empresa está funcionando corretamente. Ele inclui um sistema para propriamente agendar, alocar pessoal, conduzir e documentar atividades de inspeções realizadas periodicamente em uma instalação, acerca dos outros elementos do RBPS. O produto final de uma auditoria deve ser um relatório completo, com todos os achados e, se necessário, recomendações de correção de desvios, que devem incluir um prazo determinado e responsabilidades de execução.

Uma auditoria pode ser conduzida por um time da própria unidade, considerada uma auditoria interna, por um time externo da mesma corporação, ou até por uma empresa terceira que é contratada para tal. As atividades são extensas, sendo necessário um preparo prévio, com definição do escopo, reunião de um time eficiente e com responsabilidades bem definidas, estudo de informações antigas e planejamento dos procedimentos a serem realizados. Após a execução, há a documentação e recomendação de melhorias.

Como já descrito, na investigação conduzida pela CSB (2011) foram mencionadas auditorias, feitas por funcionários de outras unidades da própria empresa, em relação aos acidentes ocorridos na unidade de F3455 e SLM. Uma em 2007 incluiu as duas unidades, e uma em 2006, envolvendo apenas atividades envolvendo fogsênio e, portanto, o SLM. Ambas encontraram falhas pertinentes aos acidentes de 2010. Fica claro que a DuPont possuía um procedimento eficiente de inspeção, capaz de identificar problemas em suas operações e documentá-los. A problemática está na forma com que a organização lida com esses achados, pois as recomendações não geraram o resultado esperado de melhoria da segurança.

a) **Vazamento de cloreto de metila:** O problema encontrado na auditoria realizada na unidade F3455, foi a não diferenciação entre alarmes provenientes de processos ativos e processos não ativos. Isso gerou uma recomendação, que foi concluída ainda em 2008 (CSB, 2011). Apesar de constar no relatório da investigação, isso não constitui uma falha grave em relação a esse elemento do RBPS. O maior problema foi a atitude dos funcionários em ignorar falsos alarmes recorrentemente.

b) **Vazamento de oleum:** Não foram identificadas falhas em relação a esse elemento no segundo acidente.

c) **Vazamento de fogsênio:** Em relação a unidade de SLM, a auditoria de 2006 observou, corretamente, que as mangueiras de transferência de fogsênio não estavam de acordo com o padrão da DuPont, e que havia corrosão nelas. A forma com que esses achados foram documentados constitui uma falha em relação ao elemento de auditorias do RBPS. Eles foram registrados apenas como observações, e essas não são obrigadas a serem implementadas, diferentemente de recomendações. Dessa maneira, não ocorreu nenhuma mudança no tipo de

mangueira utilizada, e não houve uma investigação mais profunda para descobrir o motivo da corrosão.

Já a auditoria de 2007 constatou que investigações de incidentes não eram prontamente iniciadas, o que gerou uma recomendação de revisão dos procedimentos de investigação, que foi cumprida. Isso não impediu que o fato se repetisse no dia 23 de janeiro de 2010. Por esse motivo, pode-se dizer que o elemento “Auditorias” falhou mais uma vez em relação a unidade de SLM.

Uma auditoria não pode ser feita simplesmente para cumprir com uma obrigação regulatória ou corporativa, ela deve ser capaz de cumprir com suas recomendações e solucionar os problemas achados. Se for constatado que os funcionários estão descumprindo com normas ou procedimentos, eles devem ser retreinados de forma a mudar tal comportamento, que constitui um risco para os envolvidos. EM relação ao evento da planta de Belle, não houve relato de que os funcionários foram reeducados a prontamente iniciar investigações.

5.5.4. Revisão do Gerenciamento e Melhoria Contínua

O último elemento do RBPS, assim como as auditorias, visa continuamente revisar os sistemas de segurança de processos de uma empresa para gerar melhorias constantes. A diferença é que o elemento revisão do gerenciamento visa avaliar de uma forma mais ampla, enquanto a auditoria é uma inspeção presencial dos procedimentos operacionais e não operacionais de processos químicos. Todos os elementos são avaliados, de forma a garantir que eles estejam funcionando da forma com que é esperada. É avaliado, por exemplo, se as operações diárias estão seguindo as análises e recomendações dos outros três elementos do quarto bloco. O intuito é formar uma organização com uma cultura de melhoria contínua, sempre avaliando os seus processos para funcionar da maneira mais segura possível.

A DuPont falhou nesse elemento. Os resultados das investigações e auditorias, como mencionados nos itens anteriores, não geraram mudanças nas operações e segurança de processos da planta de Belle. As próprias equipes responsáveis falharam em não implementar as devidas recomendações, mas uma revisão gerencial de mais alto nível não percebeu isso por muitos anos.

Preocupa, principalmente, essa falta de atenção na unidade de SLM, que lidava com um produto tão perigoso quanto o fogsênio. O projeto original da unidade considerava uma produção local, diminuindo os riscos. A construção foi postergada desde o início, em 1988, e acabou nunca acontecendo. Além disso, a empresa escolheu contrariar as próprias normas de mangueiras de transferência. Tal fato foi constatado no mínimo duas vezes, em 1987, nas discussões iniciais do projeto, e na auditoria de 2006. A corrosão das linhas também foi identificada em 2006. Foram diversas oportunidades para resolver questões que, no fim, terminaram com a perda da vida de um funcionário. Uma revisão ampla do sistema, que analisasse todos os documentos de investigações, auditorias e outros, ao mesmo tempo, poderia descobrir que havia diversos problemas, muitas vezes recorrentes, e chegar à conclusão do risco que isso representava, enquanto uma análise pontual de cada questão se mostrou insuficiente.

6. Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo avaliar como a falha da implementação de elementos de um sistema de gerenciamento de segurança pode ser um fator contribuinte de um acidente. Para isso foi feito um estudo de caso dos acontecimentos da planta da DuPont localizada em Belle, WV, nos Estados Unidos, nos dias 22 e 23/01/2010. Os fatos foram descritos pelo relatório final da investigação conduzida pela CSB. Ao longo do estudo, foram identificadas diversas falhas em relação ao que é proposto nos elementos do sistema de gerenciamento de segurança baseado em riscos da CCPS, o RPBS.

É inegável que a DuPont possuía um sistema de gerenciamento de segurança robusto, e que a segurança foi, tradicionalmente, uma preocupação da corporação ao longo de muitos anos. A própria CSB (2011) menciona essa característica da empresa como sendo reconhecida pelo resto da indústria química. A preocupação surge quando, mesmo tendo essa fama positiva, se constatou três acidentes relevantes durante um período de 33 horas. Há outros fatos agravantes, como as evidências de que a corporação já tinha o conhecimento de alguns problemas da planta que acabaram contribuindo para os eventos discutidos. Além disso, os acidentes mencionados em outras plantas da DuPont, como a de Buffalo em 2010 e a de La Porte em 2014, revelam questões estruturais mais profundas no gerenciamento da segurança.

Ao longo do capítulo 5, foram constatadas falhas em muitos dos elementos que constituem um sistema de gerenciamento de segurança baseado em risco. A maioria das falhas, inclusive, haviam sido identificadas pela própria empresa em auditorias, revisões e investigações de acidentes anteriores. Foi uma sequência de negligências que culminaram nos acidentes de 23 de janeiro, incluindo uma fatalidade. Por essas razões, as principais falhas estavam na cultura de segurança de processos da corporação, e no último bloco de elementos, em “Investigação de acidentes e Incidentes” e “Auditorias”. Foram diversas oportunidades de correção não aproveitadas.

Os acontecimentos de Belle não foram catastróficos em relação a outros grandes acidentes mencionados. Apesar disso, muitas vezes a diferença entre uma

catástrofe e um incidente é apenas a sorte. Devemos sempre analisar um pouco mais a fundo quando algo do tipo acontece. Problemas maiores podem ser descobertos, e a correção deles podem prevenir acontecimentos piores. Eventos de falhas, apesar de indesejados, devem ser aproveitados para melhorar os sistemas de gestão de segurança de processos.

7. Referencias

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS.

Gerenciamento de Segurança Operacional (SGSO). 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-sqso>. Acesso em 28/07/2021

ARBOCHEM. **DuPont™ Velpar® L Herbicide Safety Data Sheet**. Maio de 2015.

Disponível em: http://www.arborchem.com/label-sds/sds_Dupont_VelparLVU.pdf.

Acesso em 02/05/2021

ARTURSON, G. **The tragedy of San Juanico—the most severe LPG disaster in history**. Burns, v. 13 (2), p. 87-102. Abril de 1987.

AMERICAN SOCIETY FOR METALS. **Metals Handbook: Corrosion**, ASM

International, ASM Handbook, v.13, 1987

DINIZ, Américo. **Tridimensional Training Matrix improving Process Safety**

Performance. RSE, 2017. Disponível em: <https://www.rsem.com.br/tridimensional-training-matrix-improving-process-safety-performance/> Acesso em: 03/08/2021

BROWNING, Jackson B. **Union Carbide: Disaster at Bhopal**. Retired Vice

President, Health, Safety and Environmental Programs Union Carbide Corporation.

1993. Disponível em: <http://www.environmentportal.in/files/report-1.pdf>. Acesso em: 20/02/2021

BOWONDER, B. **An analysis of the Bhopal accident**. Project Appraisal, [S.L.], v. 2, n. 3, p. 157-168, set. 1987. Informa UK Limited.

CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY. **Glossary, Critical Equipment**.

[s.d.]: Disponível em: <https://www.aische.org/ccps/resources/glossary/process-safety-glossary/critical-equipment>. Acesso em 02/08/2021

CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY. **Risk Based Process Safety**

Overview. New York. 2014: Disponível em:

https://www.aiche.org/sites/default/files/docs/embeddedpdf/risk_based_process_safety_overview.pdf Acesso em 13/02/2021

CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY. **Process Safety Leading and Lagging Metrics. You Don't Improve What You Don't Measure.** New York: CCPS, 2011

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Risco de Acidente de Origem Tecnológico: Método para decisão de termos de referência.** São Paulo, 2011. NT P4261. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/11/P4261-revisada.pdf>. Acesso em: 13/07/2021.

CHEMICAL ENGINEERING WORLD. **Heat Tracing on Pipeline.** Novembro de 2020. Disponível em: <https://chemicalengineeringworld.com/heat-tracing-on-pipeline/> Acesso em 15/05/2021.

CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD. **CSB Safety Video: Anatomy of a Disaster.** Apresentado pela US Chemical Safety and Hazard Investigation Board. 02/06/2008. 1 vídeo (55 min 33 seg). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=XuJtdQOU_Z4. Acesso em 05/08/2021

CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD. **CSB Safety Video: Ethylene Oxide Explosion.** Apresentado pela US Chemical Safety and Hazard Investigation Board. 05/03/2007. 1 vídeo (9min 23seg). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=2UnKLM2Eag>. Acesso em 05/08/2021

CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD. **Investigation Report, DuPont Corporation Toxic Chemical Releases, E.I. Dupont De Nemours & CO., INC.,** No. 2010-06-I-WV, 2011. Disponível em: <https://www.csb.gov/dupont-corporation-toxic-chemical-releases>. Acesso em 09/02/2021

CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD. **Investigation Report, Flammable Vapor Explosion, E.I. Dupont De Nemours & CO., INC.,** No. 2011-01-I-NY, 2012. Disponível em: <https://www.csb.gov/e-i-dupont-de-nemours-co-fatal-hotwork-explosion/>. Acesso em 27/07/2021

CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD. **Investigation Report, Toxic Chemical Release at the DuPont La Porte Chemical Facility.**, No. 2015-01-I-TX, 2019. Disponível em: <https://www.csb.gov/dupont-la-porte-facility-toxic-chemical-release/>. Acesso em 27/07/2021

DEVASTATING DISASTERS. **San Juanico - 1984**. Disponível em: <https://devastatingdisasters.com/san-juanico-1984/>. Acesso em 20/02/2021

DINIZ, Américo. **Tridimensional Training Matrix improving Process Safety Performance**. RSE, 2017. Disponível em: <https://www.rsem.com.br/tridimensional-training-matrix-improving-process-safety-performance/> Acesso em: 03/08/2021

DUPONT. **Our History**. 2020-a. Disponível em: <https://www.dupont.com/about/our-history.html>. Acesso em 10/02/2021

DUPONT. **Our Business**. 2020-b. Disponível em <https://www.dupont.com/about/our-businesses.html> Acesso em 10/02/2021

DUPONT. **Our People**. 2020-c. Disponível em <https://www.dupont.com/about/our-people.html> Acesso em 10/02/2021

CHEMELLO, Emiliano. **Acidentes Explicados pela Ciência: Desastre em Bhopal**. Química Virtual. 2010. Disponível em: <http://www.quimica.net/emiliano/artigos/2010setembro-bhopal.pdf>. Acesso em 26/07/2021.

ESTRADA, J. A. **Aspectos da Gestão da Mudança na implementação de um sistema de gestão de SMS: Um estudo de caso**. 2008. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp091382.pdf> Acesso em: 15/02/2021

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **About Acute Exposure Guideline Levels (AEGs)**. 2021-a. Disponível em: <https://www.epa.gov/ae-gl/about-acute-exposure-guideline-levels-ae-gls>. Acesso em: 20/07/2021

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Phosgene Results - AEGL Program**. 2021-b. Disponível em: <https://www.epa.gov/aegl/phosgene-results-aegl-program>. Acesso em 20/07/2021

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Oleum Results - AEGL Program**. 2021-c. Disponível em: <https://www.epa.gov/aegl/oleum-results-aegl-program>. Acesso em 24/07/2021

HENDERSHOT, D. C. **A history of process safety and loss prevention in the American Institute of Chemical Engineers**. Process Safety Progress, v. 28 (2), p. 105-113. 2009.

KRISHNAN, Satya. **Bhopal gas tragedy: Thirty years on, wounds from world's worst chemical & industrial disaster yet to heal**. The Economic Times. India. Dezembro de 2014. Disponível em: <https://economictimes.indiatimes.com/news/politics-and-nation/bhopal-gas-tragedy-thirty-years-on-wounds-from-worlds-worst-chemical-industrial-disaster-yet-to-heal/articleshow/45398395.cms?from=mdr>. Acesso em: 20/02/2021

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. U.S Department of Commerce. **Methyl Chloride**. 1999-a. Disponível em: <https://cameochemicals.noaa.gov/chris/MTC.pdf>. Acesso em: 02/05/2021.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. U.S Department of Commerce. **Phosgene**. 1999-b. Disponível em <https://cameochemicals.noaa.gov/chris/PHG.pdf>. Acesso em 23/05/2021

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. U.S Department of Commerce. **Oleum**. 1999-c. Disponível em <https://cameochemicals.noaa.gov/chris/OLM.pdf>. Acesso em 24/07/2021

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. **Deaths of four workers prompts deeper look at DuPont Safety Practices**. OSHA Regional News Release. E.U.A. Julho de 2015. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20151222131311/https://www.osha.gov/newsrelease/reg-6-20150709.html> Acesso em 20/02/2021

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. **1910.120 App B - General description and discussion of the levels of protection and protective gear.** Laws and Regulations. 1994 Disponível em: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.120AppB>. Acesso em: 20/05/2021

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. Process Safety Management (PSM), 2000.

SCIENCE HISTORY INSTITUTE. **Eleuthère Irénée du Pont.** 2020. Disponível em: <https://www.sciencehistory.org/historical-profile/eleuthere-irenee-du-pont>. Acesso em 10/02/2021

TULLO, A. H. C&EN's Global Top 50 for 2021. Chemical & Engineering News, v.99, n.27, 2021. Disponível em: <https://cen.acs.org/business/finance/CENs-Global-Top-50-2021/99/i27>. Acesso em 27/07/2021

VAZ JÚNIOR, Carlos André. **Análise e Gerenciamento de Risco.** Rio de Janeiro: Carlos André Vaz Júnior, 2019. 106 slides, color. Disponível em: <http://www.eq.ufrj.br/docentes/cavazjunior/AGR.pdf>. Acesso em 04/09/2021