

LUELEN GEMA ZANETTI

ANÁLISE E GESTÃO DE RISCOS DE SEGURANÇA DE PROCESSOS
EM UMA EMPRESA DE FERTILIZANTES

São Paulo
2018

LUELEN GEMA ZANETTI

ANÁLISE E GESTÃO DE RISCOS DE SEGURANÇA DE PROCESSOS
EM UMA EMPRESA DE FERTILIZANTES

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para a obtenção do título de Especialista
em Engenharia de Segurança do Trabalho

São Paulo
2018

LUELEN GEMA ZANETTI

ANÁLISE E GESTÃO DE RISCOS DE SEGURANÇA DE PROCESSOS
EM UMA EMPRESA DE FERTILIZANTES

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para a obtenção do título de Especialista
em Engenharia de Segurança do Trabalho

São Paulo
2018

Dedico esse trabalho aos meus pais e minha irmã,
que são a minha inspiração e minha força.

AGRADECIMENTOS

Ao amigo Luiz Junior que colaborou de forma expressiva para a conclusão desse trabalho.

A todos os amigos e colegas que colaboraram direta ou indiretamente na execução desse trabalho.

RESUMO

A indústria química possui um papel fundamental na economia mundial e na vida das pessoas, e nesse contexto o segmento de fertilizantes tem a responsabilidade de alimentar o mundo. A preocupação com saúde, segurança e meio ambiente, que antes tratava acidentes e poluição como inerentes ao processo, hoje migrou para um patamar aonde a busca pelo zero acidentes tornou-se um diferencial competitivo e estratégico. Dentro disso, este trabalho desenvolve um estudo de caso de análise e gestão de riscos de segurança de processos utilizando técnicas específicas, tendo como objeto de estudo uma unidade de produção, mistura e armazenamento de fertilizantes adquirida de outra empresa, sem registros prévios desse tipo de análise de risco, e com mais de trinta anos de operação. A revisão de literatura contextualiza o meio em que a unidade está inserida, a importância da gestão de segurança de processos e o conceito das ferramentas utilizadas para a avaliação de risco. Para aplicar a metodologia, um grupo multidisciplinar com representantes de diferentes áreas foi formado, e cada análise foi aplicada respeitando-se as premissas da literatura e utilizando-se planilhas e matriz de risco desenvolvidas pela empresa objeto de estudo. A equipe aplicou primeiramente a ferramenta HAZID, sugerindo recomendações adicionais para aumentar o nível de segurança da unidade e levando para uma avaliação mais minuciosa o cenário identificado como mais crítico para segurança de processos. O processo de fornalha a cavaco foi então avaliado aplicando-se as ferramentas de HAZOP, LOPA e SIL, que qualitativa e semi quantitativamente identificaram possíveis cenários de perdas quanto à nível de confiabilidade atual e ações necessárias para elevar o grau de segurança da unidade. O processo foi dividido em dois Nós, sendo que o nó correspondente à parte de transformação química apresentou cenários mais críticos, porém todos com controles já instalados e recomendações adicionais que deverão ser seguidas pela unidade. As ferramentas propostas permitiram a avaliação do nível de risco da unidade, bem como das medidas de controle implementadas ou necessárias.

Palavras-chave: Segurança de processos. Gerenciamento de risco. Indústria química. Fertilizantes.

ABSTRACT

The chemical industry has a fundamental role in the worldwide economy and people's life, and inside this context the fertilizer segment has the responsibility of feeding the world. The concern about health, safety and environment, that used to see accidents and pollution as inherent in the process, nowadays has migrated to a level where the aim for zero accidents has become a competitive and strategic differential. Considering this, the study presented develops a case study of analysis and management of process safety risks using specific techniques, having as object of study a unit of production, blending and storage of fertilizers that was acquired from another company, without previous records of this type of risk analysis, and with more than thirty years of operation. The literature review contextualizes the environment in which the unit is inserted, the importance of process safety management and the concept of the tools used for risk assessment. To apply the methodology, a multidisciplinary group with representatives of different areas was formed, and each analysis was applied respecting the premises of the literature and using spreadsheets and risk matrix developed by the company object of study. The team first applied the HAZID tool, suggesting additional recommendations to increase the safety level of the unit. The scenario identified as most critical for process safety was taken for a more detailed risk assessment. The furnace process was then evaluated by applying the HAZOP, LOPA and SIL tools, which qualitatively and semi-quantitatively identified possible loss scenarios regarding the current level of reliability and actions required to increase the degree of safety of the unit. The process was split into two nodes, where the node corresponding to the chemical transformation part presented more critical scenarios, but all with controls already installed and additional recommendations that should be followed by the unit. The proposed tools allowed the evaluation of the level of risk of the unit, as well as of the control measures implemented or necessary.

Keywords: Process safety. Risk management. Chemical industry. Fertilizers.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Segurança de Processo x Segurança Ocupacional	14
Figura 2 - Evolução do faturamento líquido por segmento da indústria química no Brasil	16
Figura 3 - Indicadores de Acidentes do Trabalho no Ramo Químico	16
Figura 4 - Exemplo de matriz de risco na área de Segurança de Processos	19
Figura 5 - Exemplo de matriz de risco na área de Segurança Ocupacional.....	20
Figura 6 - Camadas de proteção.....	23
Figura 7 - Matriz de riscos utilizada em avaliações de Segurança de Processos na empresa objeto de estudo	27
Figura 8 - Definição da classe das consequências	27
Figura 9 - Planilha HAZID usada na avaliação.....	28
Figura 10 - Avaliações de risco de Segurança de Processos	29
Figura 11 - Planilha de HAZOP	30
Figura 12 - Definição dos nós.....	30
Figura 13 - Barreiras de Segurança	32
Figura 14 - Avaliação do risco inicial	33
Figura 15 - Risco residual.....	35
Figura 16- Distribuição por classificação de risco	36
Figura 17- Distribuição do sistema envolvido para os riscos altos	37
Figura 18 - Riscos e recomendações resultantes da análise HAZID	37
Figura 19 - Análise SIL Nó 1	40
Figura 20 - Análise SIL Nó 2	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIQUM	Associação Brasileira da Indústria Química
ALARP	<i>As low as reasonably practicable</i>
BPCS	<i>Basic process control system</i>
CAT	Comunicação de Acidente de Trabalho
CSB	<i>Chemical Safety and Hazard Investigation Board</i>
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
HAZID	<i>Hazard Identification Study</i>
HAZOP	<i>Hazard and Operability Studies</i>
HES	<i>Health, Environment and Safety</i>
IPL	<i>Independent Protective Layer</i>
LOPA	<i>Layers of Protection Analysis</i>
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
MTPS	Ministério do Trabalho e Previdência Social
NR	Norma regulamentadora
NSC	<i>National Safety Council</i>
OHSAS	<i>Occupational Health and Safety Assessment Series</i>
OSHA	<i>Occupational Safety and Health Administration</i>
P&ID	Diagrama de engenharia de tubulação e instrumentação
PFD	Probabilidade de falha sob demanda
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
SIF	Função Instrumental de Segurança
SIL	<i>Safety Integrity Level</i>
SIS	Sistema Instrumental de Segurança
SMS	Segurança, Meio ambiente e Saúde
TOPS	<i>Technical and Operational Procedures</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. OBJETIVO	11
1.2. JUSTIFICATIVA	11
2. REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1. SEGURANÇA DE PROCESSOS E SEGURANÇA OCUPACIONAL	13
2.2. INDÚSTRIA QUÍMICA DE FERTILIZANTES	15
2.3. ANÁLISE E GESTÃO DE RISCOS	17
2.4. MATRIZ DE RISCOS	19
2.5. FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE RISCO EM SEGURANÇA DE PROCESSOS	20
2.5.1. HAZID	21
2.5.2. HAZOP	21
2.5.3. LOPA e SIL (Análise das camadas de proteção e nível de integridade de segurança)	22
3. MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1. DEFINIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	25
3.2. MATERIAIS E MÉTODOS DA ANÁLISE	26
3.2.1. HAZID	26
3.2.2. HAZOP, LOPA e SIL	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1. HAZID	36
4.2. HAZOP, LOPA e SIL	40
4.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
5. CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS	46
ANEXOS	48
ANEXO A – Processo das operações da unidade objeto de estudo	48
ANEXO B – Fluxograma de processo da unidade de granulação	49

1. INTRODUÇÃO

A indústria química possui papel fundamental na economia mundial e na vida das pessoas, produzindo bens que são usufruídos pelos consumidores diretos e também atendendo outras empresas. A manipulação de materiais e processos perigosos e a crescente introdução no mercado de novos produtos com novos riscos leva à necessidade de análises de risco para avaliar o potencial da indústria causar dano aos seres humanos e ao meio ambiente (SILVA, 2009).

Segundo Sauer (2000), os acidentes industriais catastróficos dos últimos anos mostram que a falha humana e falta ou vulnerabilidade de programas de gerenciamento de risco são contribuintes significativos para a ocorrência de acidentes potenciais. No histórico desses acidentes, pode-se citar: a liberação de isocianato de metila de uma tubulação, matando mais de 4.000 pessoas entre colaboradores e vizinhança em *Bhopal* (Índia), em 1984; explosão de um reator de produção de ciclohexano em *Flixborough* (Inglaterra), levando ao óbito 28 pessoas em 1974; incêndio numa unidade de gás no norte do México, em 2012, matando 26 pessoas e deixando 7 desaparecidas; maior acidente ocorrido na indústria do petróleo, com vazamento de óleo que durou 87 dias, no Golfo do México em 2010 (*Deepwater Horizon*); explosão de um armazém de fertilizantes no Texas em 2013, resultando em 15 mortos e considerado o acidente mais catastrófico da indústria de fertilizantes. Deste modo, o conhecimento profundo e detalhado dos perigos dos processos é fundamental na concepção e prática de planos mais eficazes de prevenção e gerenciamento dos riscos dos empreendimentos.

Além dos aspectos ocupacionais e ambientais, adquirir uma postura proativa e evitar acidentes traz significativos impactos financeiros, tanto por evitar os custos da empresa com relação ao acidente, como também é um diferencial competitivo e estratégico (GIL, 2015). Segundo a *National Safety Council* (NSC, 2003), organização norte-americana não governamental, existem nos EUA cerca de 13.000 mortes de acidentes de trabalho por ano, e mais de 2 milhões de feridos com afastamento envolvendo um ou mais dias. Os prejuízos chegam a 30 bilhões de dólares. Já o Brasil, conforme dados do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), está entre os dez países com maior número de vítimas de acidente de trabalho, sendo que de cada 10 mil acidentes, 100,5 são fatais (BRASIL, 2017).

Dentro desse contexto, o presente trabalho propõe um estudo de caso baseado em análises de risco de segurança de processos de uma planta de fertilizantes, utilizando as ferramentas de HAZID (*Hazard identification*), HAZOP (*Hazards and operability*), LOPA (*Layers of protection analysis*) e SIL (*Safety integrity level*), amplamente utilizadas na indústria química e implementadas corporativamente na empresa em estudo. Concluído o estudo baseado nas reais condições de operação da indústria, o trabalho avalia o atual nível de risco da planta, a confiabilidade dos controles já implementados e recomendações adicionais que contribuirão com um eficaz gerenciamento de riscos de segurança de processos e uma postura proativa.

1.1. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo estudar e aplicar os conceitos de análise e gerenciamento de riscos de segurança de processos em uma indústria de fertilizantes, especificamente em uma unidade recém adquirida.

1.2. JUSTIFICATIVA

As ferramentas de análise de segurança de processos são usualmente aplicadas durante o projeto de uma nova instalação química, normalmente quando já se possui o *layout* proposto para a planta, e no mínimo informações macro sobre os produtos e equipamentos (Sidiqqi et al., 2014). No entanto, neste trabalho as avaliações serão realizadas em uma unidade de produção, mistura e armazenamento de fertilizantes já existente, que foi adquirida de outra empresa.

Não foram encontrados registros prévios de análises de risco de segurança de processos da planta que tenham sido realizados pela empresa responsável pela unidade anteriormente, o que levou à necessidade desse estudo para avaliar atualmente o nível de segurança da unidade, e, se necessário, quais ações elevariam esse nível. O fato da instalação já possuir mais de trinta anos de operação também contribui com a necessidade eminente dessa avaliação.

A autora teve a oportunidade de trabalhar no projeto, bem como uma vivência de quatro anos e meio trabalhando com gerenciamento de segurança de processos, mais especificamente com as ferramentas HAZID, HAZOP, LOPA e SIL. Tais

metodologias possibilitam uma avaliação dos riscos relacionados a pessoas, danos ao meio ambiente e perda financeira, além de combinarem análises de riscos qualitativas e semi-quantitativas, tornando-se poderosas ferramentas para uma avaliação profunda e detalhada dos riscos de processo da unidade objeto de estudo, bem como seus controles implementados e necessidades adicionais.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. SEGURANÇA DE PROCESSOS E SEGURANÇA OCUPACIONAL

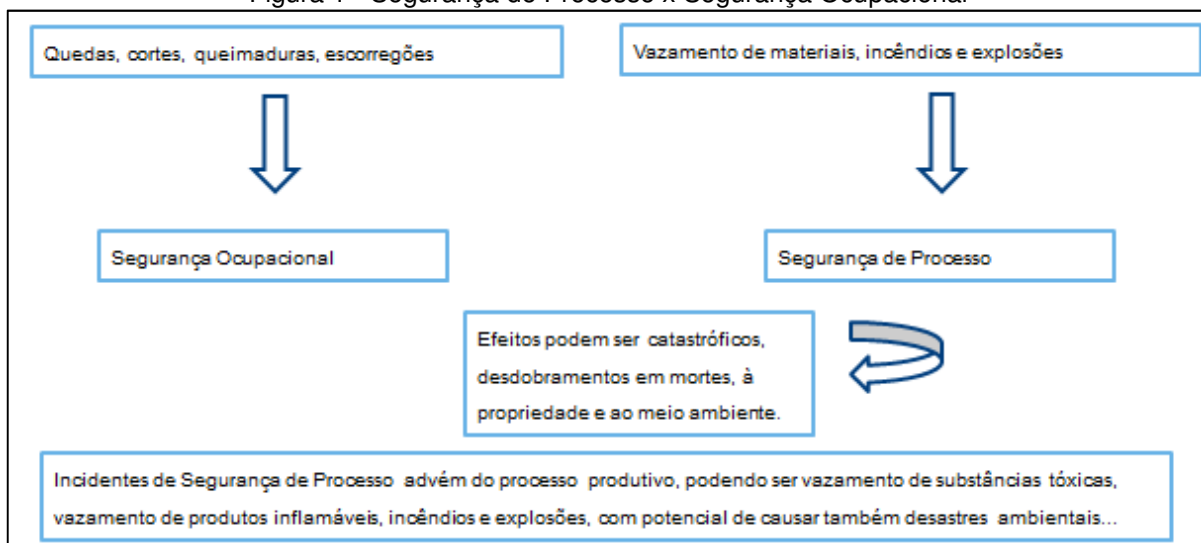
No surgimento da indústria, acidentes do trabalho e poluição ambiental eram vistos como inerentes ao processo produtivo e ao desenvolvimento econômico. Com o surgimento de legislações regulamentadoras, passaram a ser vistos como obrigação legal, atendimento a padrões e impacto em custos, e o desenvolvimento atual coloca a cultura de SMS como um diferencial competitivo e estratégico (GIL, 2015).

Segundo Souza, Lima e Lima (2013), atualmente o desempenho de segurança do trabalho das empresas é medido pelos acidentes ocorridos pelo exercício do trabalho a serviço da empresa, geralmente com uso de ferramentas, movimentação de cargas, ou mesmo queda de diferente nível. Porém, quando se analisa acidentes maiores, também conhecidos como acidentes de segurança de processo, estes estão ligados à perda de contenção do processo químico (vazamentos, em palavras mais simples), e embora menos frequentes, atingem proporções maiores, com os impactos podendo até ser estendidos à vizinhança.

O professor Andrew Hopkins, da Universidade nacional da Austrália, para mostrar a diferença entre segurança ocupacional e segurança de processo exemplifica que uma preocupação de segurança importante na indústria da aviação são as lesões nas costas e luxações musculares dos carregadores de bagagens (segurança ocupacional). Porém, nenhuma empresa jamais pensaria que seus esforços para reduzir esse tipo de lesão melhora a segurança de voo, que é então equivalente à segurança de processo. Por isso, diferentes análises de riscos, atividades e programas são necessários para gerenciar essas diferentes áreas de segurança (GIL, 2015).

A Figura 1 mostra a diferença entre Segurança ocupacional e Segurança de processos:

Figura 1 - Segurança de Processo x Segurança Ocupacional



Fonte: Arquivo pessoal

Após uma série de catástrofes industriais, a OSHA (*Occupational Safety and Health Administration - USA*) publica em 1990 um documento com os requisitos mínimos para gerenciamento de segurança de processo (*Process safety management*) na indústria química. A revisão do documento em 2000 (OSHA 3132) traz os seguintes padrões a serem seguidos:

1. Desenvolver e manter documentos escritos que identificam os perigos e riscos do ambiente de trabalho e do processo, bem como os equipamentos e tecnologia usados;
2. Realizar avaliações de riscos, incluindo identificação dos possíveis cenários de acidentes, suas probabilidades e consequências potenciais para o ambiente de trabalho e para os colaboradores;
3. Consultar os colaboradores e seus representantes no desenvolvimento e condução das avaliações de risco, e manter os registros disponíveis;
4. Estabelecer um sistema para prevenir, mitigar e responder às emergências identificadas nos cenários de avaliações de risco;
5. Revisar periodicamente as avaliações de risco e resposta à emergência;
6. Desenvolver e implementar procedimentos escritos para os processos químicos, incluindo limitações e operações anormais, e aspectos sobre segurança e saúde;
7. Treinar os operadores nos procedimentos, enfatizando perigos e controles necessários;

8. Assegurar que os colaboradores contratados também tenham acesso às informações e treinamentos necessários para realizar suas atividades com segurança;
9. Treinar colaboradores e contratados nos procedimentos de resposta a emergências;
10. Estabelecer um programa que assegure a qualidade e confiabilidade dos equipamentos do processo, bem como materiais de manutenção;
11. Estabelecer sistema de manutenção preventiva para equipamentos críticos, incluindo inspeção, testes, procedimentos e treinamentos para os colaboradores;
12. Conduzir revisão de todas as modificações realizadas ou novos equipamentos instalados antes da partida da planta industrial;
13. Possuir um procedimento de gestão e avaliação de mudanças no processo químico, equipamentos e tecnologias;
14. Investigar cada incidente que resulta ou poderia ter resultado em um acidente maior, com plano de ação apropriado para as causas encontradas.

2.2. INDÚSTRIA QUÍMICA DE FERTILIZANTES

A indústria química está presente em praticamente todos os bens de consumo e atividades econômicas, oferecendo soluções que tornam a vida humana mais prática, melhorando processos e qualidade de produtos.

A indústria química no geral mostra importância expressiva dentro do cenário anual. Segundo o relatório “O Desempenho da Indústria Química Brasileira”, divulgado pela Abiquim apud Revista tecnologia de materiais (2016), a indústria brasileira ocupa 8º lugar no ranking mundial, com faturamento anual de US\$ 111,8 bilhões, conforme dados de 2015.

O aumento mundial pela demanda de alimentos é diretamente proporcional ao crescimento populacional, e nesse contexto a indústria de fertilizantes, que consiste na elaboração de insumos para a nutrição de plantas e aumento da produtividade agrícola, torna-se muito importante (FERRI, 2010). Dentro do cenário da indústria química, o segmento de fertilizantes destaca-se, sendo historicamente um dos segmentos de maior faturamento líquido, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 - Evolução do faturamento líquido por segmento da indústria química no Brasil

US\$ bilhões													
SEGMENTOS	1996	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016*	% 16*/15	% 16*/96 a.a.
Produtos químicos de uso industrial	19,9	55,1	62,8	46,9	61,2	73,8	69,5	72,5	69,7	53,7	54,9	2,3	5,2
Produtos farmacêuticos	7,6	14,6	17,1	15,4	20,6	18,2	17,3	17,4	17,9	13,6	13,6	0,4	3,0
Fertilizantes	3,0	9,0	14,2	9,7	11,5	17,4	17,0	15,8	16,4	12,6	12,6	0,0	7,4
Hig. pessoal, perf. e cosm.	4,2	8,8	10,5	11,1	13,4	15,1	14,9	14,9	15,5	10,8	11,4	5,6	5,1
Produtos de limp. e afins ¹¹	2,8	6,3	7,1	6,7	8,0	8,9	8,1	8,1	7,7	5,7	6,3	9,4	4,1
Defensivos agrícolas	1,8	5,4	7,1	6,6	7,3	8,5	9,7	11,5	12,2	9,6	9,1	-5,2	8,4
Tintas, esmaltes e vernizes	2,0	2,4	3,0	3,0	3,9	4,5	4,3	4,2	4,1	3,1	2,8	-6,9	1,8
Fibras artificiais e sintéticas	n.d.	1,1	1,1	1,0	1,1	1,3	1,3	1,2	1,2	0,9	0,8	-13,5	n.d.
Outros	1,5	1,6	1,7	1,5	1,8	2,2	2,1	2,2	2,2	1,9	1,9	1,4	1,3
TOTAL	42,8	104,3	124,6	101,9	128,8	150,0	144,3	147,7	146,6	111,8	113,5	1,4	5,0

Fonte: Revista tecnologia de materiais (2016)

*Dado estimado

No cenário de acidentes do trabalho, no ano de 2014, conforme Anuário Estatístico de Acidente do trabalho do MTPS, foram apontados 704.136 acidentes de trabalho em todo o Brasil. Dos acidentes com CAT registrada, 2,8% eram relacionadas às doenças de trabalho, 20,7% acidentes de trajeto e 76,5% acidentes típicos, que são decorrentes da característica da atividade profissional desempenhada pelo trabalhador. Analisando-se os dados, verificou-se que desse total de acidentes, 5% ocorreram no ramo químico (GOULART, 2016). A Figura 3 demonstra que o segmento de Adubo e Fertilizantes lidera a taxa de incidência de acidentes de trabalho no Brasil no ramo químico.

Figura 3 - Indicadores de Acidentes do Trabalho no Ramo Químico

Setore Ramo Químico	Estoque (N° de Trab.)	Total de Acidentes	% Acidentes / Estoque Trab	Taxa de incidência de acidentes de trabalho (em 1 mil)
Adubos e Fertilizantes	28.334	1.044	3,7%	36,8
Borracha	99.882	3.007	3,0%	30,1
Defensivo Agrícola	9.553	150	1,6%	15,7
Farmacêutico	103.101	1.646	1,6%	16,0
Hig. Pessoal , Perf. E Cosméticos	44.799	895	2,0%	20,0
Minérios	117.178	2.624	2,2%	22,4
Papel e Celulose	184.767	5.443	2,9%	29,5
Petróleo	101.934	3.373	3,3%	33,1
Plástico	355.795	10.935	3,1%	30,7
Produtos de Limpeza	46.001	929	2,0%	20,2
Químicos para fins industriais	120.027	2.942	2,5%	24,5
Tintas	33.675	762	2,3%	22,6
Vidro	47.737	1.737	3,6%	36,4
Total	1.292.783	35.487	2,7%	27,4

Fonte: Goulart (2016)

Na indústria de fertilizantes, o acidente de segurança de processos mais catastrófico da história mundial ocorreu na *West Fertilizer*, no Texas, em 2013. O acidente resultou em 15 mortos, 260 pessoas feridas, destruição total das instalações da companhia e severos danos a 150 prédios e casas da vizinhança, incluindo uma escola e um hospital. A investigação realizada pela agência americana CSB evidenciou que o fertilizante nitrato de amônio, com características altamente explosivas, era mantido em um armazém de material combustível (madeira), foi permitido o seu contato com substâncias incompatíveis que levaram a sua decomposição e consequente explosão; as instalações não atendiam os requisitos de segurança estabelecidos pela OSHA 3132, e, por fim, um plano de resposta a emergências não foi devidamente estabelecido.

2.3. ANÁLISE E GESTÃO DE RISCOS

A norma OHSAS 18001:2007 traz que a organização deve estabelecer, implantar e manter um procedimento para a identificação de condições perigosas, análise de riscos e determinação dos controles necessários. A metodologia adotada para a análise de risco deve ser definida em relação ao escopo, natureza e tempo, garantindo assim que seja proativa, bem como permitir priorização do riscos e controles a serem adotados.

A OSHA 3132 (*Process safety management*) define que a análise de riscos precisa ser minuciosa, ordenada e sistemática, a fim de identificar, avaliar e controlar os perigos de processos envolvendo produtos químicos perigosos. A análise deve abordar:

- Os perigos do processo;
- A identificação de qualquer incidente anterior com potencial catastrófico para a planta;
- Controles administrativos e de engenharia, como, por exemplo, métodos de detecção como controladores e alarmes, que previnam a ocorrência de perda de contenção;
- Consequências das falhas dos métodos de controle;
- Localização da instalação;

- Fatores humanos;
- Uma avaliação qualitativa dos possíveis efeitos (consequências) sobre a segurança e saúde dos colaboradores caso ocorram falhas nos controles.

Para entender uma avaliação de riscos, é imprescindível o conhecimento da definição de perigo e risco. No Brasil, há divergências nas classificações desses termos, principalmente em função de traduções deficientes dos termos em inglês. Este estudo se baseará nas definições conforma a OSHAS 18001:2007:

Perigo: Fonte, situação ou ato com potencial para provocar danos humanos em termos de lesão ou doença, ou uma combinação destas. Em segurança de processos, avalia-se também o potencial de danos materiais às instalações.

Risco: Combinação da probabilidade de ocorrência de um evento perigoso ou exposição com a gravidade (severidade) que pode ser causada pelo evento ou exposição. Define-se por risco aceitável o risco que foi reduzido a um nível que pode ser tolerado pela organização, levando em consideração suas obrigações legais e sua política de segurança e saúde.

Comumente, confunde-se análise de riscos com gerenciamento de riscos.

A avaliação de riscos permite a comparação de fatos e dados, mas ela em si não decide. O gerenciamento de riscos, por outro lado, contempla imensa gama de ações: mudanças no processo de produção ou implementação de equipamentos de segurança; formas e valores de compensações para vítimas e o meio ambiente afetado; legislações e intervenções governamentais, entre outras (FREITAS, 1996 apud BARBOSA et al, 2002, p. 21).

Os elementos essenciais para o gerenciamento de riscos são antecipação, reconhecimento, avaliação e consequente controle dos riscos, de forma a utilizar recursos humanos, materiais, financeiros e tecnológicas de forma a prevenir ou reduzir consequências de acidentes que possam causar danos aos trabalhadores, impactos ambientais e perdas para a população vizinha (FARIAS, 2015).

2.4. MATRIZ DE RISCOS

Os riscos devem ser avaliados segundo a análise da probabilidade de ocorrência e consequência do impacto do evento. Conforme Rego (1999, p. 14), “essa classificação deve ser realizada através de uma matriz, cujos valores são obtidos pelo produto dos valores resultantes da análise da probabilidade e da severidade”.

Conforme citado pelo professor Andrew Hopkins, a aviação pode ser citada como um bom exemplo para explicar Segurança de Processos. A Figura 4 abaixo ilustra uma matriz de risco utilizada pelo setor aéreo para as avaliações.

Figura 4 - Exemplo de matriz de risco na área de Segurança de Processos

		Severidade				
		5	4	3	2	1
		Catastrófica	Perigoso	Grande	Pequena	Desprezível
Probabilidade de Ocorrência	1 Extremamente Improvável	5 Revisar	4 Aceitável	3 Aceitável	2 Aceitável	1 Aceitável
	2 Improvável	10 Inaceitável	8 Revisar	6 Revisar	4 Aceitável	2 Aceitável
	3 Remota	15 Inaceitável	12 Inaceitável	9 Revisar	6 Revisar	3 Aceitável
	4 Ocasional	20 Inaceitável	16 Inaceitável	12 Inaceitável	8 Revisar	4 Aceitável
	5 Frequente	25 Inaceitável	20 Inaceitável	15 Inaceitável	10 Inaceitável	5 Revisar

Fonte: Revista Espacios (2008)

Na área de Segurança de Processos, a severidade mais grave sempre atinge proporções catastróficas e a probabilidade mais remota está na faixa de extremamente improvável, pois trata-se de acidentes mais raros, porém com proporções maiores se comparado aos acidentes ocupacionais. A Figura 5 é um exemplo de matriz de riscos usada em segurança ocupacional.

Figura 5 - Exemplo de matriz de risco na área de Segurança Ocupacional

		Consequências		
		Baixa	Média	Alta
Probabilidade	Remota	Risco Tolerável	Risco Tolerável	Risco Moderado
	Possível	Risco Tolerável	Risco Moderado	Risco Substancial
	Provável	Risco Moderado	Risco Substancial	Risco Intolerável

Fonte: Leinfelder (2016)

Cada empresa costuma elaborar suas próprias matrizes de risco, semelhantes aos exemplos acima. O risco residual pode ser classificado em tolerável, moderado, substancial e intolerável, ou de forma mais simplificada em baixo, médio e alto. Os controles e ações resultantes das avaliações de risco devem ser viáveis técnica e economicamente, atingindo um nível no mínimo ALARP – *as low as reasonably practicable*, termo em inglês que significa “atingir um nível de risco tão baixo quanto razoavelmente praticável” (LEINFELDER, 2016). Isso porque a partir de um momento o esforço econômico e de viabilidade para aumentar o nível de segurança não é compensado pela proteção trazida.

2.5. FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE RISCO EM SEGURANÇA DE PROCESSOS

No âmbito de Segurança de Processos existem várias ferramentas usadas para análise de riscos, como HAZOP, FMEA, HAZID, *What-if*, Análise de árvore de falhas, LOPA, SIL, entre outras. Algumas dessas ferramentas são qualitativas e outras fornecem uma análise quantitativa, e há também as semi-quantitativas.

“A análise qualitativa usa palavras para descrever a magnitude das consequências potenciais e a probabilidade dessas consequências se materializarem” (ALDENUCI; SPINOSA; FAVARETTO, 2009, p. 9). Frequentemente utiliza-se uma matriz de riscos que cruza severidade potencial *versus* probabilidade na avaliação. Ainda segundo os mesmos autores, “a análise quantitativa usa

números para descrever a magnitude das consequências potenciais e a probabilidade dessas consequências se materializarem” (ALDENUCI; SPINOSA; FAVARETTO, 2009, p. 9).

O presente trabalho abordará as ferramentas HAZID, HAZOP, LOPA e SIL.

2.5.1. HAZID

HAZID, abreviação do termo em inglês *Hazard identification*, consiste em uma avaliação e classificação rápida dos riscos. O HAZID é normalmente aplicado na fase de projeto de sites de produção ou unidades de armazenamento, mas pode também ser usado para instalações já em funcionamento, com o objetivo de identificar quais são os processos de maior risco.

Segundo Sidiqqi et al. (2014), o HAZID é a etapa inicial da avaliação de riscos, fornecendo informações para análises de risco mais específicas, como HAZOP, bem como indicação de documentações e dados adicionais para o projeto ou planta.

Os mesmos autores recomendam também que se divida o projeto/planta em partes menores para a avaliação. Para a análise HAZID, recomenda-se uso de uma planilha que liste uma série de perigos típicos da instalação a ser estudada, como, por exemplo, relacionados à temperatura, tipo de solo, reações químicas incompatíveis, dentre outros. Para cada perigo listado, deve-se descrever o impacto e o controle (barreira de segurança) existente e/ou requerido; e combinar severidade potencial com probabilidade de ocorrência, seguindo uma matriz de riscos.

2.5.2. HAZOP

Do inglês, *Hazard and operability*, HAZOP é uma técnica de avaliação de riscos usada mundialmente não apenas para estudo dos perigos de uma planta, mas também para avaliar os problemas relacionados à operacionalidade, explorando os efeitos dos desvios que possam vir a ocorrer (DUNJÓ et al., 2010).

Trata-se de uma metodologia que procura identificar perigos e avaliar riscos existentes nos processos químicos e similares, realizado de maneira sistemática e rigorosa, com base na operação e no fluxograma de engenharia, usando palavras-guia aplicadas sobre as variáveis do processo e com auxílio de uma planilha. É recomendado para identificar perigos

usualmente associados aos processos das indústrias químicas (GIL, 2015, p.10).

Para avaliação HAZOP, o processo deve ser dividido em diferentes nós. Um nó deve ser identificado a partir do esquema de engenharia (P&ID) da planta, e consiste em um equipamento e suas linhas (entradas e saídas) associadas. As palavras-guia são adjetivos que quantificam a variável do processo que desviou da intenção, como por exemplo, temperatura menor e temperatura maior (GIL, 2015).

Ainda segundo o mesmo autor, um time multidisciplinar deve realizar em conjunto o estudo HAZOP. Esse time deve ter um líder com conhecimento sênior na ferramenta, e profissionais com ampla experiência na área de processo, manutenção e instrumentação, bem como na área de segurança, saúde e meio ambiente para enriquecer a identificação dos riscos. O estudo tem como resultado uma série de recomendações que devem ser atendidas para maior segurança do processo.

2.5.3. LOPA e SIL (Análise das camadas de proteção e nível de integridade de segurança)

LOPA consiste em determinar se há número de camadas de proteção (IPL's) suficientes para controlar o risco em um possível cenário de acidente.

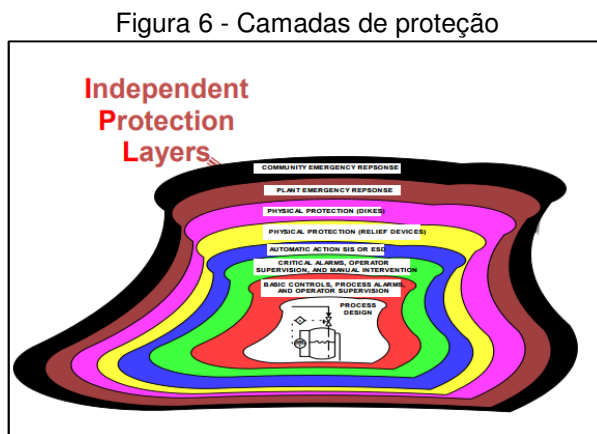
LOPA utiliza categorias em ordem de magnitude para a frequência do evento iniciador, severidade das consequências, e probabilidade de falhas para as Camadas de Proteção Independentes (IPL's) para calcular o risco aproximado de um cenário. Dessa forma, LOPA é uma técnica que fica entre uma simples técnica de análise quantitativa e uma técnica de análise quantitativa mais elaborada (CHINAQUI, 2012, p. 57).

Se o nível de IPL's não for o suficiente, então deve ser adicionado um nível maior de segurança ao processo. IPL, do inglês *Independent protection layer*, são as barreiras de segurança, desde que atinjam as condições abaixo:

- Específica: é capaz de evitar o acidente ou a consequência específica rápido o suficiente;
- Independente: todos os componentes desta barreira devem ser independentes do evento inicial e de outras barreiras;
- Segura: deve fornecer um nível conhecido de redução do risco;

- Auditável: A eficácia da IPL deve ser avaliada com o tempo. Isto inclui avaliar o design, a instalação, operação, manutenção e testes.

A Figura 6 ilustra as possíveis camadas de proteção para um processo.



Fonte: Chinaqui (2012)

Conforme a norma IEC 61511-1:2016 (*Functional safety – Safety instrumented system for the process industry sector*), SIS (sistema instrumental de segurança) é a instrumentação e controle instalado para trazer ao processo ou equipamento específico um estado seguro. Deve ser sempre uma malha de controle separada do controlador do processo, e a quantidade de redução de risco trazida por um SIS é expressa como SIL (nível de integridade de segurança, do inglês, *safety integrity level*), que é definido por um intervalo de probabilidade de falha sob demanda (PFD).

Embora associada à sistema instrumental de segurança, o conceito de SIL pode ser aplicado a outras barreiras de segurança a fim de avaliar o nível de segurança que as mesmas trazem ao processo. Quanto maior o SIL, menor é a probabilidade de falha por demanda da barreira, ou seja, quanto maior o nível de segurança, menor é a probabilidade da proteção falhar quando precisar atuar para proteger o processo. Isso significa dizer que processos que exigem proteção maior requerem barreiras com SIL mais elevado.

As barreiras podem ser preventivas, evitando que o cenário de acidente ocorra, ou mitigatórias, atuando na redução das consequências se o cenário vir a ocorrer. Exemplo clássico na indústria química, uma válvula de segurança que atua quando uma caldeira pressuriza, liberando a pressão e evitando uma possível explosão é uma barreira mitigatória; a pressurização ocorreu, porém sem

consequências severas graças à atuação da válvula. Já os alarmes de controle instalados na caldeira, que notificam quando pressão está aumentando e possibilitam ao operador reagir antes da pressão aumentar a ponto da válvula de segurança precisar abrir, é um exemplo de barreira preventiva.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nessa etapa são descritos os materiais e métodos utilizados para o estudo do caso.

3.1. DEFINIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo escolhido foi uma unidade de produção de fertilizantes localizada no Paraná. A unidade recebe, armazena, produz e ensaca com foco nos produtos fosfatados para atender especialmente o mercado do Paraná. Na área de produção, há uma unidade de granulação que produz fertilizantes de linha diferenciada e básicos para misturas, totalizando cerca de 205 kt/ano. Já na área de ensaque, existem três unidades misturadoras, as quais são responsáveis por carregar e ensacar os produtos finais para o cliente. O principal meio de transporte do produto final e também da matéria-prima necessária é rodoviário (caminhões) – capacidade de 700 kt/ano. O Anexo A esquematiza o processo de operações da unidade.

A unidade opera 365 dias por ano, embora os volumes de recebimento e expedição sejam sazonais e mais altos nos períodos que antecedem a safra e safrinha. A granulação opera 24h por dia e 7 dias por semana, enquanto as unidades de misturas operam de segunda a sábado ou de acordo com a demanda. Os principais insumos das áreas produtivas são cavaco (combustível para fornalha), óleo xisto (combustível para a caldeira) e óleo diesel (utilizado no maquinário).

A unidade foi adquirida de outra empresa, e isso trouxe a necessidade de realizar as avaliações de risco de segurança de processos da planta para avaliar a situação atual de nível de segurança e quais recomendações adicionais seriam necessárias para elevar a segurança no local. Não há registros de análise de riscos de segurança de processo antes da aquisição da unidade.

O suporte técnico para realização do estudo baseou-se nos documentos fornecidos pela empresa, como procedimentos, materiais de treinamento, planilhas, informações de campo, além de consulta à referência bibliográfica sobre o assunto.

3.2. MATERIAIS E MÉTODOS DA ANÁLISE

3.2.1. HAZID

Para realização do estudo HAZID, um grupo multidisciplinar da unidade, incluindo o autor, reuniu-se durante 8 horas de trabalho em um dia. O grupo contava com representantes da área de processos, manutenção, elétrica e instrumentação e HES (saúde, segurança e meio ambiente). Planta geral da unidade e descrição do processo foram os documentos utilizados para suporte à avaliação, e uma planilha desenvolvida pela própria empresa foi usada para direcionar e registrar a análise.

A planilha é estruturada da seguinte forma:

- Informações iniciais: Inicialmente insere-se uma descrição geral do processo a ser avaliado e time participante. No cabeçalho da planilha registra-se os responsáveis pela unidade e o líder da avaliação HAZID;
- Palavras-guia: são as palavras que direcionam a avaliação de riscos, como, por exemplo, temperatura extrema, reações químicas adversas, liberação de inflamáveis, dentre outras;
- Efeitos na unidade/processo: descreve-se qual o efeito correspondente ao cenário indesejável direcionado pela palavra-guia;
- Barreiras existentes ou mandatórias/exigidas: descreve-se quais as barreiras já instaladas ou que precisam ser instaladas para redução do risco;
- Consequência com a barreira: descreve-se qual a consequência do cenário (em relação a pessoas, meio ambiente e custos), considerando que as barreiras estejam instaladas;
- Avaliação do risco: utilizando-se uma matriz de risco desenvolvida pela empresa objeto estudo, avalia-se a probabilidade do cenário ocorrer e possível consequência. O risco residual (baixo, médio ou alto) é mostrado na coluna seguinte. O risco médio corresponde ao nível ALARP;
- Comentários: comentários gerais e as recomendações necessárias são descritas nessa parte.

As Figuras 7 e 8 correspondem à matriz de risco e definição da classe de severidade utilizadas.

Figura 7 - Matriz de riscos utilizada em avaliações de Segurança de Processos na empresa objeto de estudo

		Frequente	Frequência média	Frequência baixa	Muito raro	Extremamente raro	Quase impossível
		Mais do que uma vez por ano	Mais do que uma vez a cada 10 anos	Mais do que uma vez a cada 100 anos	Mais do que uma vez a cada 1000 anos	Mais do que uma vez a cada 10.000 anos	Mais do que uma vez a cada 100.000 anos
		5	4	3	2	1	0
		Mais - 1/ano	1/ano - 10 ⁻¹ /ano	10 ⁻¹ /ano - 10 ⁻² /ano	10 ⁻² /ano - 10 ⁻³ /ano	10 ⁻³ /ano - 10 ⁻⁴ /ano	10 ⁻⁴ /an - Menos
Catastrófico	1						
Crítico	2						
Perigoso	3						
Perigo médio	4						
Pouco perigoso	5						

Fonte: Arquivo pessoal

Figura 8 - Definição da classe das consequências

		Categorias			
Nível	Severidade	HES (Pessoas)	Meio ambiente	Valor material	
				Descrição	Custo (€)
Catastrófico	1	Várias fatalidades	Dano com tempo de recuperação maior que 5 anos.	Dano maior à planta, complete demolição da planta	Maiores 30 M€
Crítico	2	Uma fatalidade	Atenção pública internacional	Cessão de produção	Menos que 15 M€
			Dano com tempo de recuperação menor que 5 anos	Maiores danos a equipamentos, quebra de equipamentos-chaves do processo	
Perigoso	3	Lesão permanente	Evacuação da vizinhança necessária. Atenção pública nacional.	Perda maior de qualidade ou produção	Menos que 2 M€
			Dano com tempo de recuperação menor que 2 anos.	Dano considerável aos equipamentos, ruptura, etc...	
Perigo considerável	4	Tratamento médico	Necessária atenção da vizinhança. Atenção pública local.	Perda considerável de qualidade ou produção	Menos que 0,1 M€
			Danos não permanentes	Dano menor a equipamentos, fogo em área limitada, emissão de substância inflamável ou tóxico quente	
Perigo menor	5	Primeiros socorros	Liberação causando cheiro desagradável fora da unidade	Pequena perda de qualidade ou produção	Menos que 10.000€
			Dano insignificante	Dano insignificante, pequena emissão de água, ar, nitrogênio, vapor, etc...	
			Sem reação externa	Não há perda de qualidade ou produção	

Fonte: Arquivo pessoal

Primeiramente, avaliou-se os riscos gerais da unidade com as palavras-guia referentes a essa seção, e depois realizou-se uma análise seguindo palavras-guia mais específicas para subdivisões do processo: granulação, utilidades, moinho, e mistura, incluindo armazéns.

A Figura 9 ilustra um exemplo da planilha utilizada na avaliação, mostrando primeiramente a avaliação genérica e depois a mais detalhada por subdivisões.

Figura 9 - Planilha HAZID usada na avaliação

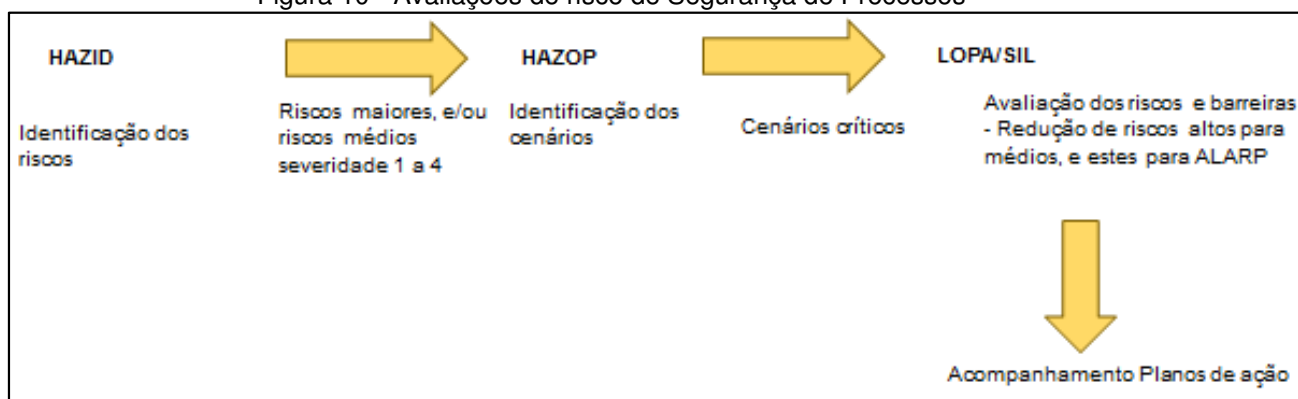
Eventos não desejados		Efeito no processo/ unidade nº	Proteção (existente / mandatório)	Consequência com a proteção		Probabilidade com a proteção	Risco residual	Comentários
Palavras-guia	Detalhes			Descrição	C (1-5)	P (1-5)		
Atmosfera	Fumaça	Em caso de queda de energia, a fumaça da fornalha fica espalhada	Isolamento do acesso	A fábrica fica tomada por fumaça (lesão pessoal); estrutural pela temperatura	4	2		Instalar sistema de "damper" e chaminé de emergência (previsão 2020)
	Espaço confinado	Espaço confinado em atividades de manutenção e operação (limpeza)	Seguir NR 33 e procedimentos locais	Lesão pessoal	3	1		

Eventos não desejados		Efeito no processo/ unidade nº	Proteção (existente / mandatório)	Consequência com a proteção		Probabilidade com a proteção	Risco residual	Comentários
Palavras-guia	Detalhes			Descrição	C (1-5)	P (1-5)	Palavras-guia	Detalhes
Perigos do processo								
Condições do processo	Pressão máxima	Fornalha a cavaco (ver itens anteriores);	Limitador de nível para evitar excesso de carga; Controle do operador	Queda do lavador; perda de produção	3	4		"Interlock" do limitador de nível com as bombas 60BB02 e 60BB02R
	Temperatura mínima	Temperatura do óleo deve ser no mínimo 70°C	Aquecimento; isolamento na linha de óleo; procedimentos operacionais	Perda de qualidade	5	5		
	Temperatura máxima	Óleo, tanque de serviço granulação (ponto de fulgor=180°); temperatura da fornalha máxima de 1350 °C	Shutdown automático da fornalha; Controle por termostato no tanque de óleo	Explosão (tanque de óleo); destruição do refratário da fornalha	3	3		Ter acompanhamento de temperatura de óleo de recobrimento do tanque de serviço no painel da granulação
Reação química indesejada		NA						
Liberação do processo - inflamável - sem ignição	Nuvem de gás	Névoa de óleo de recobrimento	Controle de temperatura do óleo;	Lesão pessoal - queimadura por vapor de óleo	5	2		
	Deteção de gás	Não há necessidade						

Fonte: Arquivo pessoal

Ao final, são mapeadas as recomendações feitas pelo time avaliador, identificando-se responsável e prazo para implementação. Os principais riscos apontados são discutidos e os maiores riscos (risco residual alto, que é a cor vermelha da matriz de riscos) seguem para avaliações mais minuciosas, conforme ilustrado pela Figura 10.

Figura 10 - Avaliações de risco de Segurança de Processos



Fonte: Arquivo pessoal

3.2.2. HAZOP, LOPA e SIL

Para realização do estudo HAZOP também foi formado um time multidisciplinar com representantes das mesmas áreas que participaram da avaliação HAZID. Como o HAZOP é mais minucioso e requer mais tempo, foram agendadas reuniões semanais de 4 horas de duração, e após quatro sessões a avaliação foi concluída.

A análise consistiu na identificação qualitativa dos cenários que podem dar errado, seguida de avaliação da potencial severidade e probabilidade de ocorrência dos cenários, verificação das barreiras existentes e necessárias e grau de confiabilidade trazido pelas mesmas. Dessa forma, o estudo HAZOP, LOPA e SIL foram feitos de forma simultânea. A metodologia permite que seja feita análise LOPA e SIL apenas para os cenários mais críticos, porém o time preferiu fazer a análise em conjunto por entender que não requeria muito tempo adicional e assegurava uma avaliação mais completa.

Uma planilha em Excel desenvolvida pela empresa objeto de estudo foi utilizada. O sistema estudado foi a Fornalha a cavaco da unidade, que é utilizada para aquecer o ar do processo de secagem do fertilizante granulado, e fica localizada na unidade de granulação, conforme demonstrado no Anexo B. A Figura 11 traz os itens que foram abordados durante o HAZOP.

2. Desvios: discutiu-se cada palavra-guia da coluna 2 para identificação dos perigos e suas causas.
3. Nº: numeração dos cenários identificados.
4. Causas: Descreveu-se o que causa o desvio da coluna 2.
5. Consequência: descreveu-se detalhadamente quais as consequências do cenário identificado em relação a pessoas, meio ambiente e custo (equipamentos e produtividade).
6. Design do processo: descreveu-se o design do processo na coluna 6 nos casos em que o projeto forneceu redução do risco para o cenário.
7. Barreiras de segurança: registrou-se as barreiras de segurança existentes no cenário. As barreiras podiam ser:
 - 7.1 BPCS (*Basic process control system*): qualquer função de controle, incluindo malhas de controle contínuas, *on/off* e *interlocks*.
 - 7.2 Intervenção do operador: Controle do operador ou alarme sob responsabilidade do operador.
 - 7.3 SIF: um conjunto de equipamentos de instrumentação projetados para evitar um acidente, por exemplo, paradas automáticas de equipamentos.
 - 7.4 Proteções passivas: São barreiras mitigativas, como por exemplo, EPIs, diques, bacias de contenção, disco de ruptura, válvula de alívio, porta anti-chama.
 - 7.5 Redução automática de consequência: algumas funções instrumentais de segurança (SIF), mas que têm função mitigativa, e não preventiva (e não humano). Exemplo: sprinklers.

A Figura 13 ilustra exemplos das barreiras que foram utilizadas.

Figura 13 - Barreiras de Segurança

Tipo	Categoria	Exemplos
Prevenção	Design do processo	Orifício restritivo de fluxo
		Disjuntor de vácuo
		Material que previne corrosão
		Isolamento para proteção pessoal
		Válvula de retenção
	Controle de processo	BPCS (Sistema de controle de processo básico)
	Intervenção do operador	Monitoramento de dados, monitoramento em campo Resposta a alarmes
Mitigação	SIS (Sistema de instrumentação de segurança)	Função de sistema de segurança
	Redução automática da consequência	Sprinkler
		Depurador
		Neutralizador
	Proteção passiva	EPIs*
		Monitoramento da qualidade do ar
		Dique ou sistema de drenagem
		Barreiras anti-chama
		Disco de ruptura
		Válvula de alívio
	Resposta à emergência*	Planos de evacuação; combate a incêndio; plano de evacuação da comunidade;

Fonte: Arquivo pessoal

*EPIs e Resposta à emergência são barreiras citadas nas avaliações HAZOP, LOPA e SIL, mas não possuem PFD atribuído, não contribuindo para aumentar o grau de confiabilidade de análises de segurança de processos.

Após o HAZOP, todos os cenários identificados foram avaliados quanto a LOPA e SIL. Primeiramente, usou-se a mesma matriz de risco usada na avaliação HAZID para avaliar o risco inicial, conforme Figura 14.

Figura 14 - Avaliação do risco inicial

8 FREQUÊNCIA INICIAL DO EVENTO	9 CONDIÇÕES DE PERMISSÃO E MODIFICADORES CONDICIONAIS	10 FATOR DE EXPOSIÇÃO	11 NÍVEL DE CONSEQUÊNCIA			12 NÍVEL REQUERIDO DE SEGURANÇA (Todas IPLs)			
?	?		HS	Env	Eco	HS	Env	Eco	SIL EQUIVALENTE geral
D	1	0,1	0	0	5	OK	OK	OK	OK
B	1	0,1	3	0	5	OK	OK	OK	OK
F	1	0,1	5	0	5	-	OK	-	0

Fonte: Arquivo pessoal

8. Frequência inicial do evento: Baseado na causa, consultou-se a tabela guia da planilha PHA, que traz as estimativas de frequência inicial do evento. Por exemplo, para uma malha de controle (BPCS) estima-se a frequência de falha em 0,1/ano, encaixando-se na classe de frequência E, que deve então ser preenchida na ferramenta. Algumas causas serão mais empíricas, a frequência não estará estimada em uma tabela, e então predomina a experiência do grupo e o histórico conhecido.
9. Condições de permissão e modificadores condicionais: os primeiros referem-se às condições que devem estar presentes para que a causa inicial se torne um motivo de preocupação; e os modificadores condicionais são as condições que precisam estar presentes para que aquele cenário se desenvolva com aquela consequência. São expressados em probabilidade: 1,0 quando não presentes; 0,1 quando presentes. O grupo não identificou a presença dessas condições nos cenários avaliados.

10. Fator de exposição: foi usado 1,0 para probabilidade de várias pessoas serem afetadas pelo cenário identificado e 0,1 quando o cenário afetaria no máximo uma pessoa.
11. Nível de consequência: foi usada a mesma matriz de riscos da avaliação HAZID e estimou-se severidade potencial para pessoas (HS), meio ambiente (Env) e perda de produção/propriedade (Eco).
12. Nível requerido de segurança (risco inicial): o risco inicial foi automaticamente calculado pela ferramenta de Excel, combinando probabilidade de ocorrência com severidade, sendo expresso em nível de SIL exigido.

Após avaliação do risco inicial, avaliou-se o quanto cada barreira identificada no HAZOP contribui para a redução do risco, atribuindo-se PFD às mesmas. Ao design do processo, não atribuiu-se PFD, mas avaliou-se se o mesmo reduzia probabilidade de ocorrência ou severidade. Para as barreiras BPCS, intervenção do operador e redução automática de consequência atribuiu-se PFD 0,1 quando as mesmas atenderam os requisitos de barreira IPL. Para SIS e proteções passivas, utilizou-se a própria ferramenta em Excel para calcular o PFD. Para isso, foi fundamental a contribuição do representante de instrumentação do grupo avaliador, para as especificações técnicas necessárias.

Com todas as barreiras avaliadas, a planilha calculou se o risco residual para o cenário era aceitável ou não, e o mesmo foi expresso na coluna “T”, conforme Figura 15. Por fim, o time forneceu recomendações adicionais obrigatoriamente para os cenários de risco residual alto, mas também outras oportunidades de melhoria. As recomendações foram inseridas em um software específico para acompanhamento de ações e oportunidades de melhoria com responsáveis e prazos definidos.

Figura 15 - Risco residual

Figura 10 - Nível de risco.

A	B	C	D	E	M	O	Q	S	T
Nó 2	DESVIO	N°	CAUSA	CONSEQUÊNCIA	NÍVEL REQUERIDO DE SEGURANÇA (Todas IPLs)				NÍVEL DE SEGURANÇA INSTALADO (Todas IPLs)
Moega 02 e fornalha			<input type="button" value="Check-list"/>		HS	Env	Eco	SIL EQUIVALENTE geral	SIL EQUIVALENTE geral
			<input type="button" value="Inserir linha"/>						
			<input type="button" value="Deletar linha"/>						
			<input type="button" value="Mostrar
HAZOP"/>						
1	Sem fluxo	1.1	Cavaco com pedra ou tamanho inadequado do cavaco na moega 02	Falta de cavaco no sistema, temperatura não suficiente para secagem do produto, produto úmido. Problema em uma das roscas, em uma fórmula que exige alta temperatura, será necessário baixar carga de produção.	OK	OK	-	0	1,00
		1.2	Problemas mecânicos e elétricos nas roscas 60RH05 e 60RH06	Falta de cavaco no sistema, temperatura não suficiente para secagem do produto, produto úmido. Problema em uma das roscas, em uma fórmula que exige alta	OK	OK	OK	OK	1,00
		1.3	Entupimento de ambas as roscas (60RH05 e 60RH06), devido a cavaco muito longo ou muito úmido	Falta de cavaco no sistema, temperatura não suficiente para secagem do produto, produto úmido. Problema em uma das roscas, em uma fórmula que exige alta temperatura, será necessário baixar carga de produção.	OK	OK	OK	OK	1,00

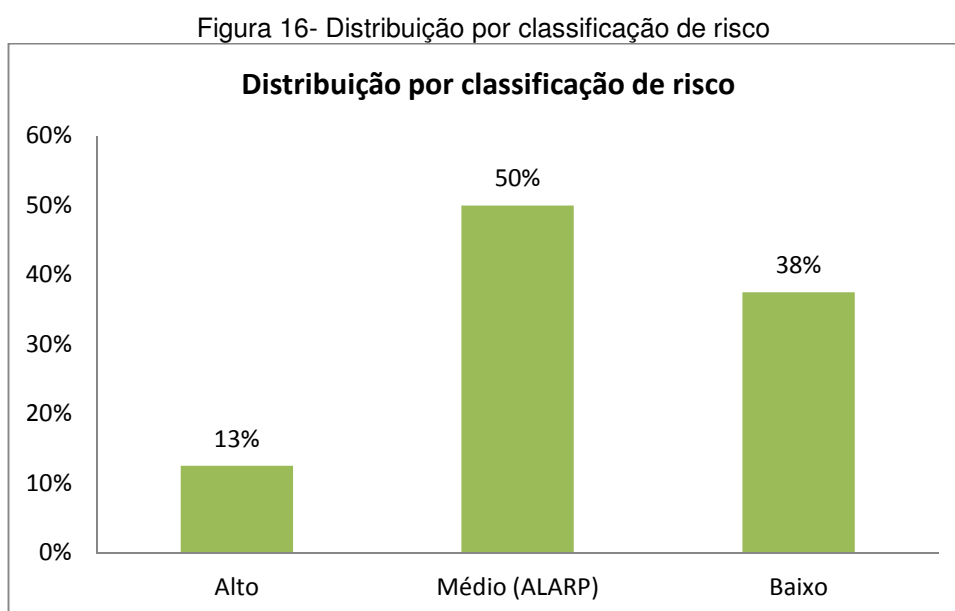
Fonte: Arquivo pessoal

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos estudos estão baseados na operação real da planta objeto de estudo, documentação analisada e informações do grupo multidisciplinar envolvido nas avaliações.

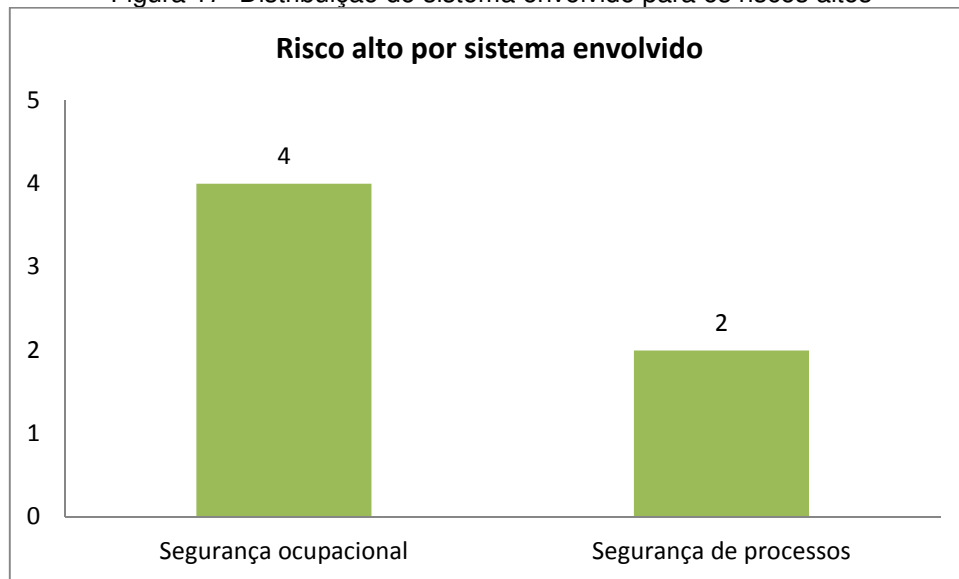
4.1. HAZID

As Figuras 16 e 17 abaixo ilustram a distribuição de risco residual da avaliação HAZID.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 17- Distribuição do sistema envolvido para os riscos altos



Fonte: Arquivo pessoal

Observou-se que 50% dos riscos identificados está na faixa ALARP, ou seja, risco residual aceitável, 38% são cenários com risco baixo e 13% de risco alto. O time direcionou recomendações para cada risco médio e alto, conforme apresentado pela Figura 18, partes A, B e C.

Os riscos altos foram em sua maioria relacionados à segurança ocupacional. Para esses, além das ações apresentadas na tabela abaixo, avaliações de risco específicas focadas em Segurança ocupacional foram realizadas (tais avaliações não são objetivo desse estudo). Para os dois riscos relacionados à Segurança de Processo, avaliações adicionais foram realizadas.

Figura 18 - Parte A - Riscos e recomendações resultantes da análise HAZID

Classificação do risco	Cenário	Recomendação
Risco alto – Segurança ocupacional	Queda de telhas e colapso da estrutura por ventos fortes	Seguir o projeto de troca de telhas e melhor fixação das mesmas
	Queda do colaborador durante amostragem de cavaco	Providenciar amostrador para coletar amostra de cavaco na moega e aumentar altura do guarda-corpo existente

Fonte: Arquivo pessoal

Figura 18 – Parte B - Riscos e recomendações resultantes da análise HAZID

Classificação do risco	Cenário	Recomendação
Risco alto – Segurança ocupacional	Atropelamento por pá carregadeira nos armazéns	Reforçar procedimento de acesso aos corredores
	Lesão pessoal grave por contato com correias transportadoras	Finalizar plano de adequação a NR 12 (Proteção de equipamentos) e TOPS 1-08 (documento interno sobre proteções em Correias transportadoras)
Risco alto – Segurança de processos	Aumento da pressão do sistema da fornalha a cavaco, com risco de incêndio, geração excessiva de fumaça, sobre pressão de equipamentos e perda de produtividade	Instalar sistema de damper e chaminé de emergência no sistema.
Risco ALARP e recomendações gerais	Excesso de pressão na caldeira, seguida de explosão	Manter o atendimento a NR 13 (Caldeiras e vasos de pressão)
	Lesão ocupacional e perda de produtividade por baixo nível de limpeza, já que o solo apresenta alto nível de umidade (unidade de mistura)	Realizar sondagem no solo para verificar melhor o lençol freático
	Eliminação de material particulado fora dos limites da legislação na granulação, moinhos e misturas	Instalar sistema de despoeiramento no Moinho de DAP e MAP; Instalar filtros manga no transbordo e alimentação das misturas e peneiras
	Lançamento de água no solo fora dos limites da legislação	Estudar a possibilidade de lançar esgoto diretamente na rede pública e não mais ter estação de tratamento interna

Fonte: Arquivo pessoal

Figura 18 – Parte C - Riscos e recomendações resultantes da análise HAZID

Classificação do risco	Cenário	Recomendação
Risco ALARP e recomendações gerais	Lesão auditiva por ruído intenso de equipamento utilizado no laboratório	Estudar uma forma de atenuação do ruído do equipamento de teste para amostras da granulação no laboratório e apresentar medição do ruído no PPRA
	Queimadura por contato com superfície quente	Colocar proteção térmica no tanque de serviço de óleo dustrol na granulação
	Excesso de temperatura na fornalha com danos ao refratário da fornalha e risco de incêndio	Ter acompanhamento de temperatura de óleo de recobrimento do tanque de serviço no painel da granulação
	Excesso de temperatura nos tanques de óleo de recobrimento com risco de explosão	Instalar alarme de temperatura alta nos tanques de óleo de recobrimento
	Vazamento de vapor – perda financeira e queimaduras	Estudar viabilidade de isolamento de válvulas de vapor e água do granulador
	Mistura de materiais incompatíveis nos armazéns, afetando a qualidade do produto	Reforçar a prática de colocar lonas entre um box e outro de armazenamento

Fonte: Arquivo pessoal

Os dois maiores riscos relacionados à segurança de processos, processo de fornalha a cavaco e caldeira, foram discutidos pelo time como cenários que deveriam ser melhor avaliados em avaliações subsequentes de HAZOP, LOPA e SIL, conforme prescrito pela metodologia.

Há um projeto em andamento para substituição do tipo de caldeira utilizada atualmente pela unidade por questões de produtividade; e o projeto contempla a realização de todas as avaliações de segurança de processos para garantir

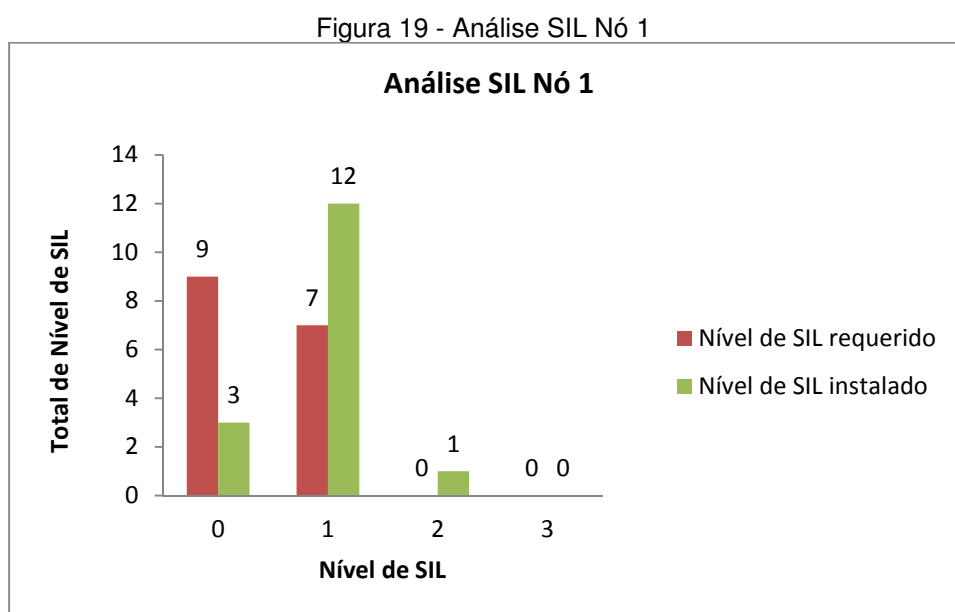
segurança na nova instalação. Por isso, o time decidiu não levar o atual processo de produção de vapor para análises adicionais.

O sistema da fornalha a cavaco é um dos mais críticos da unidade de granulação. Qualquer excesso de pressão e temperatura que se concentre no local pode provocar incêndios e consequente aumento de pressão de outros equipamentos, levando à ruptura dos mesmos. O sistema torna-se mais crítico quando ocorre parada não programada na unidade, já que o calor da fornalha concentra-se. Para melhor avaliar o processo da fornalha a cavaco, seu nível de segurança atual e oportunidades de redução de risco, o mesmo foi levado à análise HAZOP, LOPA e SIL.

4.2. HAZOP, LOPA e SIL

As avaliações HAZOP, LOPA e SIL foram realizadas de forma concomitante. Primeiramente, foram aplicadas no Nó 1 e após no Nó 2 do processo da fornalha a cavaco.

A Figura 19 exemplifica o resultado da análise para o Nó 1, que se refere à alimentação de cavaco.



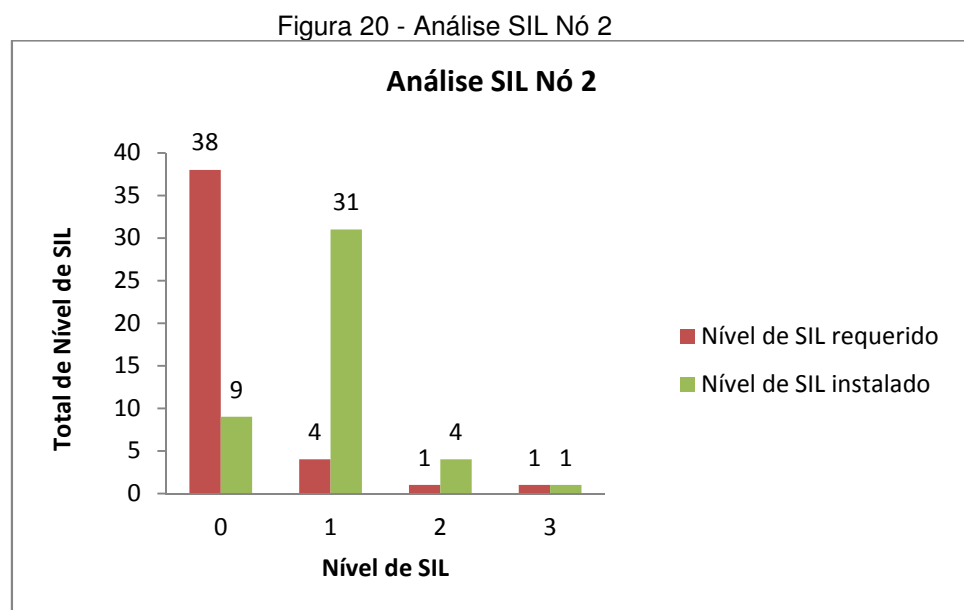
Fonte: Arquivo pessoal

Pela Figura 19, pode-se concluir que o primeiro nó do processo possui um nível de proteção elevado. O nível de SIL 1 instalado é superior ao requerido pois

para sete cenários aonde é requerido nível 0 de SIL, ou seja, o cenário não apresenta riscos significativos, as barreiras existentes elevam a segurança para um nível de SIL 1 ou 2. Não são requeridos níveis de segurança mais críticos, como SIL 2 ou 3, entretanto para o cenário de problemas mecânicos e elétricos no elevador de alimentação da moega de cavaco, que levaria à parada de unidade, as inspeções e manutenção preventiva implementadas levam o sistema a SIL 2, com alta prevenção.

Além disso, o Nó 1 apenas possui um cenário em nível ALARP, referente à segurança ocupacional. Para manutenção da moega de alimentação MG01 é necessário acessar o armazém de movimentação de produtos e matérias-primas, o que gera risco de atropelamento. Mesmo respeitando o procedimento de acesso, que consiste em possuir colete de sinalização, isolamento da área de trabalho, aviso via rádio para os motoristas das pás carregadeiras pararem a movimentação enquanto haja circulação de pessoas, o grupo responsável pela avaliação considera que deve-se manter estado de alerta para esse risco, com reciclagem de treinamento e diálogos de segurança constantes.

A Figura 20 traz o resultado da análise para o Nó 2, que se refere à fornalha, incluindo o ventilador que extrai o calor da mesma.



Fonte: Arquivo pessoal

O Nó 2 possui mais cenários possíveis quando comparado ao Nó 1, e também maior nível de criticidade (SIL requerido nível 2 e 3), o que justifica-se por

ser a parte mais complexa do processo, aonde a reação de combustão ocorre. Assim como no Nó 1, o nível de proteção instalado supera o requerido em grande parte das análises, já que o nível de SIL 1 instalado supera em cerca de 87% o requerido, enquanto o SIL 2 exigido é 75% maior do que o necessário.

Porém, esse sistema possui oito situações em nível ALARP, uma com SIL 3 requerido, uma com nível 2 e as demais SIL 1. O cenário que exige nível 3 corresponde à elevação de pressão no interior da fornalha por redução na capacidade de tiragem dos gases quentes da mesma a partir do ventilador 60VT06, e isso pode ocorrer por problemas mecânicos ou elétricos no ventilador. Embora exista indicação no supervisório da pressão interna da fornalha, com atuação do operador; inspeções elétricas semestrais e mecânicas semanais no ventilador; além da fornalha parar automaticamente quando a pressão interna atinge 5 bar, o time responsável pela avaliação considera necessário estudos adicionais para avaliar o projeto da fornalha e certificar-se que os parâmetros de pressão e temperatura na malha de controle são os que trazem maior segurança, bem como instalar uma válvula de segurança para despressurização da fornalha.

O cenário que exige nível 2 também refere-se à pressão alta no interior da fornalha, porém dessa vez seria causada por restrição no duto da fornalha devido ao acúmulo de poeiras e cinzas, com probabilidade menor do que a situação descrita acima, e mesmos controles atuais e adicionais requeridos. Os demais cenários ALARP são referentes a riscos ocupacionais ou de perda de qualidade de produto (impacto financeiro).

Avaliando a Figura 20 é possível perceber que a quantidade de cenários com nível SIL instalado é superior a de nível SIL requerido. Isso ocorre porque um dos cenários, com SIL atual corresponde a 1, foi classificado como “*Redesign*”, ou seja, o projeto precisa ser refeito para que atenda o nível de segurança mínimo exigido. Esse cenário não afeta pessoas ou meio ambiente, sendo estritamente relacionado à perda financeira por problemas na qualidade do produto. A presença de materiais grosseiros no cavaco pode comprometer os helicoides e eixos das roscas da fornalha, comprometendo o funcionamento normal das mesmas, o que acarretará na redução da temperatura da fornalha, ocasionando problemas de secagem do produto, com reflexo no teor em água livre do mesmo. A frequência desse cenário é a maior possível, conforme a matriz de riscos (frequência F), o impacto é estritamente financeiro, severidade 4, e atualmente há um sistema automático de

compensação de alimentação de cavaco, por aumento na frequência da rosca ativa. A unidade irá trabalhar em um projeto que avalie helicoides e roscas mais adequadas para evitar essa ocorrência, porém não será uma prioridade, já que não afeta pessoas nem meio ambiente, e a perda financeira é baixa.

4.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo possibilitou a avaliação do nível de risco da nova unidade através da técnica HAZID seguida de avaliação HAZOP-LOPA-SIL, confirmando ser essa uma metodologia adequada para avaliação dos riscos de segurança de processos da unidade de fertilizantes adquirida, tendo como resultado não apenas a identificação e classificação dos riscos, mas também uma série de recomendações a serem trabalhadas para assegurarem o grau de risco da unidade como o menor possível.

Para os dois cenários identificados como risco alto durante análise HAZID, análises adicionais foram realizadas para o caso da fornalha a cavaco ou serão realizadas futuramente, para a situação do projeto de instalação da nova caldeira. O processo físico da fornalha a cavaco, que consiste no Nó 1, apresentou apenas um cenário em nível ALARP, não relacionado à segurança de processos. Já o processo químico, Nó 2, apresenta criticidade maior, porém todos os cenários em nível ALARP já possuem controles instalados e seguir as recomendações do time aumentará o nível de segurança. A única situação que exige novo design de projeto está relacionada apenas a impactos financeiros de baixa relevância.

A unidade possui cenários que exigem maior nível de segurança do que o instalado, porém nenhum em risco alto e iminente de um acidente catastrófico. Observa-se também que a planta possui um sistema de gerenciamento de riscos, utilizando-se de ferramentas específicas para identificação dos perigos e avaliação dos riscos, com foco não apenas em segurança ocupacional, mas incluindo processos, meio ambiente e impacto financeiro.

Tratando-se de análise qualitativa e semi-quantitativa, os resultados poderão ser alterados com base no grupo participante da avaliação; no entanto recomenda-se que a unidade implemente um sistema de revisão da eficácia das ações implementadas, bem como das avaliações realizadas, a cada mudança significativa que ocorra na planta ou no mínimo a cada três anos. Isso garantirá a

sustentabilidade do gerenciamento de riscos de segurança de processos e a postura proativa adotada.

5. CONCLUSÕES

Este estudo atingiu o objetivo de estudar e aplicar os conceitos de análise e gerenciamento de riscos de segurança de processos em uma indústria de fertilizantes recém adquirida.

REFERÊNCIAS

- ALDENUCI M. et al. **Mapeando a norma de gerenciamento de riscos AS/NZS 4360 NO PMBOK**. XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador, 2009.
- BARBOSA, T. S. **Gerenciamento de riscos de acidentes de trabalho: estudo de caso em uma obra de construção de dutos terrestres**. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, 2002.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Anuário de acidentes do trabalho**. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/portal-mte/>>. Acesso em: 24 setembro, 2017.
- CHINAQUI, E. **Análise e Gerenciamento de Riscos de Processo na Indústria Química**. Dissertação de Graduação em Engenharia Química. Lorena: Universidade de São Paulo, 2012.
- COMISSÃO ELETROTÉCNICA INTERNACIONAL. **IEC 61511-1: Functional safety – safety instrumented systems for the process industry sector**. Genebra, 2016.
- CSB – U.S. CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD. **West fertilizer explosion and fire**. Disponível em: <https://www.csb.gov/west-fertilizer-explosion-and-fire/>. Acesso em 24 setembro, 2017.
- DUNJÓ J. et al. **Hazard and operability (HAZOP) analysis. A literature review**. US National Library of Medicine, 2010.
- FARIAS, F. F. **Uma abordagem do gerenciamento de riscos aplicada à indústria de petróleo em uma plataforma de produção offshore**. Dissertação de mestrado em Engenharia de Segurança do Trabalho. São Paulo: Universidade Politécnica da USP, 2015.
- FERRI, F. **A estrutura e a estratégia concorrencial da indústria de fertilizantes no Brasil**. Dissertação de bacharelado em Ciências Econômicas. Porto Alegre: UFRGS, 2010.
- GIL, L.R. **Guia HAZOP: Hazard and operability**. São Paulo, 2015.
- GOULART, A. **Acidentes de trabalho no ramo químico**. São Paulo, Confederação Nacional do Ramo Químico, julho 2016. Disponível em: <<http://cnq.org.br/noticias/acidentes-de-trabalho-no-ramo-quimico-8c29/>>. Acesso em: 15 julho, 2017.
- LEINFELDER, R. R. **Análise de riscos para redução dos riscos de segurança em uma pedreira paulista**. Dissertação de mestrado em Ciências. São Paulo: Universidade Politécnica da USP, 2016.

NSC - NATIONAL SAFETY COUNCIL. **Apresenta estatísticas norte americanas sobre acidentes.** Disponível em: <<http://www.nsc.org>>. Acesso em: 24 setembro, 2017.

OHSAS 18001:2007. **Sistemas de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho: requisitos.** São Paulo: Risk Technologic, 2007.

OSHA 3132:2000. **Process safety management.** Disponível em: <<https://www.osha.gov/Publications/osha3132.pdf>>. Acesso em: 04 julho 2017.

REGO, M.A. **Metodologia qualitativa de avaliação de riscos operacionais de segurança, meio ambiente e saúde ocupacional: uma contribuição ao gerenciamento de riscos das organizações.** Dissertação de mestrado em Sistemas de gestão na área de Gestão de riscos. Rio de Janeiro: Laboratório de tecnologias, Gestão de negócios e Meio ambiente da UFF, 1999.

REVISTA ESPACIOS. **Uma análise da implementação do sistema de gerenciamento da segurança ocupacional nos operadores de táxi aéreo do Brasil.** Paraíba: v.34, p. 6, 2013.

REVISTA TECNOLOGIA DE MATERIAIS. **Indústria química brasileira perde posição no ranking mundial do setor.** Disponível em: <<http://tecnologiademateriais.com.br/portaltm/2016/12/09/industria-quimica-brasileira-perde-posicao-no-ranking-mundial-do-setor/>>. Acesso em: 15 julho, 2017.

SAUER, M. E. **Análise dos procedimentos de partida do reator iea-r1: uma aplicação da técnica HAZOP.** Dissertação de mestrado em Ciências na área de Reatores Nucleares de potência e tecnologia do combustível nuclear. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares associada à Universidade de São Paulo, 2000.

SIDDIQUI, N.A. et al. **Management Techniques HAZOP & HAZID Study.** University of Dehradun, India, 2014.

SILVA, E. C. **Análise de Risco integrada ao plano de emergência.** Bahia: ECS Consultorias, 2009.

SOUZA, R. G.; LIMA, A. P.; LIMA, G. B. **Gestão de desempenho em segurança de processo: estudo de caso em uma empresa de energia.** Relatórios de pesquisa em Engenharia de Produção. Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, v.13, n.7, p. 78-93, 2013.

ANEXOS

ANEXO A – Processo das operações da unidade objeto de estudo

A unidade objeto de estudo recebe matéria-prima por caminhões ou trem (rodovia e ferrovia) e armazena em armazéns próprios e também em um alugado que fica próximo à unidade, conforme a demanda de mercado. O site possui uma unidade de granulação que alimenta as unidades misturadoras e outras empresas do Paraná. As unidades misturadoras são o final do processo, depois o produto vai diretamente para o cliente.

O processo de granulação usa a matéria-prima com vapor e água para granular e produzir o fertilizante. As unidades misturadoras usam o produto da granulação e óleo de recobrimento para entregar ao cliente o produto desejado.

