

Aplicação da metodologia hazop no sistema de alimentação da fornalha no processo de granulação em uma indústria de fertilizantes**Hazop methodology application in the furnace feeding system during the granulation process at a fertilizer industry**

DOI:10.34117/bjdv5n9-224

Recebimento dos originais: 20/08/2019

Aceitação para publicação: 30/09/2019

Lucas de Almeida Tejada

Graduado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Pelotas

Instituição: Universidade Federal de Pelotas – UFPel

Endereço: LABSERG – Laboratório de Segurança e Ergonomia, CEng – Centro de Engenharias, Rua Benjamin Constant, 989 – sala 500 – Bairro Porto, Pelotas/RS, 96010-020

E-mail: lucasalmeida_rg@hotmail.com

Stela Xavier Terra

Graduada em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Pelotas

Instituição: Universidade Federal de Pelotas – UFPel

Endereço: LABSERG – Laboratório de Segurança e Ergonomia, CEng – Centro de Engenharias, Rua Benjamin Constant, 989 – sala 500 – Bairro Porto, Pelotas/RS, 96010-020

E-mail: stela.xavier.terra@gmail.com

Jessica Rodrigues Paiva Ferreira

Graduada em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Pelotas

Instituição: Universidade Federal de Pelotas – UFPel

Endereço: LABSERG – Laboratório de Segurança e Ergonomia, CEng – Centro de Engenharias, Rua Benjamin Constant, 989 – sala 500 – Bairro Porto, Pelotas/RS, 96010-020

E-mail: rpf.jessica@gmail.com

Luis Antonio dos Santos Franz

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Instituição: Universidade Federal de Pelotas – UFPel

Endereço: LABSERG – Laboratório de Segurança e Ergonomia, CEng – Centro de Engenharias, Rua Benjamin Constant, 989 – sala 500 – Bairro Porto, Pelotas/RS, 96010-020

E-mail: luisfranz@gmail.com

RESUMO

No ambiente industrial, os acidentes de processos com maior impacto nas plantas industriais ocorrem em situações que há uma baixa probabilidade de ocorrência, porém os efeitos para os funcionários que trabalham nestes locais são irreparáveis. No presente artigo, contextualizamos a abordagem de segurança de processo e gerenciamento dos riscos em uma indústria de fertilizantes aplicando o método do HAZOP (Hazard and Operability Studies ou Estudo de Perigo e Operabilidade). Com base nesta aplicação, identificou-se os riscos dos processos

críticos, e utilizou-se técnicas de identificação de perigos, análise e avaliação de risco para propor a criação de barreiras de proteção. A criação de barreiras de proteção possibilitou o aumento da segurança para os trabalhadores, seja do meio-ambiente, seja das instalações, seja da produtividade da planta industrial.

Palavras-chave: HAZOP, HAZID, ALARP, Segurança de Processos, Gestão de Riscos

ABSTRACT

In the manufacturing environment, the major accidents in process industries occur when there is a low probability of occurrence, however, the effects in the employee's routines are irreversible. In this work, the process safety and risk management approach are contextualized in a fertilizer industry by the application of the methodology HAZOP (Hazard and Operability Studies). Based on this methodology it was possible to identify the risks of critical processes and using the concepts of hazard identification, analysis, and risk evaluation techniques, the authors proposed the creation of protection barriers. The creation of those barriers enabled a possible increase of the plant safety level, of the conditions for a better work environment, improving facilities, and also enabling to maximize the productivity of the plant.

Keywords: HAZOP, HAZID, ALARP, Process Safety, Risk Management

1. INTRODUÇÃO

A indústria química vem se desenvolvendo largamente ao longo do tempo, contribuindo no aumento da produtividade e na diversidade dos produtos gerados. Além disso, ela é um parceiro essencial para a agroindústria, pois auxilia no controle de desperdício e na prevenção do esgotamento de recursos através tecnologias sustentáveis, destacando-se aqui o caso da produção de fertilizantes.

Neste contexto, cabe lembrar que as condições do mercado mundial de fertilizantes em 2017 foram relativamente fracas, gerando margens baixas para essa indústria, em um cenário onde a demanda não era alta, ainda que fosse abundante. Curiosamente, a produção e comércio global de fertilizantes em 2017 alcançou níveis recordes para praticamente todos os produtos, com algumas exceções no segmento de nitrogênio. Dessa forma, a combinação de preços relativamente baixos de safra e fertilizantes, e o surgimento de grande capacidade exportável com perspectivas relativamente moderadas de crescimento da demanda, criaram pressões sobre os produtores de fertilizantes em muitos países e levaram a um aumento nas medidas de defesa comercial ou exigências de qualidade para estes produtos. É previsto que entre 2018 e 2022, a indústria de fertilizantes investirá cerca de US\$ 98 bilhões na construção de 60 novas unidades de produção, adicionando 78 Mt de capacidade. Dessa forma, os investimentos estão mudando

de ativos de produção para soluções de nutrientes para plantas, infraestrutura de distribuição, serviços para clientes/agricultores e produtos de valor agregado (IFA, 2018).

Percebe-se pelo exposto que o cenário para estas indústrias situa-se em um contexto de demanda crescente por alimentos em nível global, por conta do aumento populacional, ainda mais pronunciado em décadas recentes. Com isso, torna-se fundamental atingir novos paradigmas produtivos em termos de alimentos, mantendo-se níveis sustentáveis de produção e distribuição de recursos.

Portanto, emerge aqui a importância de novos meios de produção, que utilizem novos métodos, maquinários e insumos agrícolas, os quais devem garantir o maior desenvolvimento da agricultura e geração de recursos e onde os fertilizantes acabam ganhando destaque, ao oferecer, por exemplo, meios para obtenção de maior produtividade de alimentos por área plantada. Como consequência, tem-se uma ampliação na demanda por fertilizantes que, por sua vez, decorre estruturas de produção cada vez maiores e mais complexas e, em última análise, na ampliação dos riscos em tais processos.

De fato, conforme expõe Silva (2009), a proporção em que a taxa de produção aumenta, os riscos também crescem devido à manipulação de maiores quantidades de materiais perigosos. Concomitante a isso, novos produtos surgem no mercado para atender às necessidades da sociedade e isto leva ao aparecimento de novos riscos. Daí, surge a necessidade de empreender esforços em análises de risco para avaliar o potencial destes produtos e atividades ainda durante sua fabricação causarem danos ao ser humano.

Portanto, ao focar-se no problema da segurança de processos em uma indústria e principalmente na identificação de riscos e mitigação destes, pode-se melhorar diretamente não só a segurança dos funcionários ao evitar acidentes, mas também eventos de maior impacto que possam afetar a planta industrial como um todo.

Chinaqui (2012) dá mais força a tal argumento, citando que um acidente de processo é um capítulo importante dentro dos acidentes na indústria química, seja pela especificidade, seja pela importância financeira. Uma das características deste tipo de acidente é sua probabilidade relativamente baixa de ocorrência, sendo que quando desencadeado ele pode provocar enormes tragédias humanas e ambientais.

Dessa forma, a gestão dos riscos considerando a segurança de processos revela-se imprescindível dentro de qualquer ambiente industrial químico, uma vez que preconiza a identificação dos perigos, a análise dos riscos e o controle das possíveis consequências que, se não gerenciadas, podem resultar em eventos catastróficos.

Cabe considerar ainda que na gestão de riscos as técnicas de análise de riscos tornam-se especialmente úteis, sobretudo na identificação de problemas em operabilidade dos sistemas. Afinal, mesmo que estes não sejam significativamente perigosos em um primeiro momento, podem vir a causar perdas de produção ou podem afetar a qualidade do produto ou a eficiência do processo.

Neste âmbito que se encontra o estudo de risco e operacionalidade denominado HAZOP, acrônimo da expressão anglófona Hazard and Operability Study, uma técnica para a determinação sistemática dos riscos potenciais que podem ser gerados por um sistema, e dos métodos que devem ser aplicados para removê-los ou minimizá-los (CRAWLEY & TYLER, 2015). A técnica de HAZOP, conforme expõe Diniz et al., (2007), é em essência um mecanismo indutivo, no qual uma equipe qualifica um processo por meio de perguntas sobre ele. As perguntas, com o auxílio de uma lista de palavras-guia, surgem naturalmente da interação entre os membros da equipe, que deve ser multidisciplinar.

O presente trabalho tem por objetivo propor meios para a mitigação dos riscos prioritários no âmbito de uma planta industrial química. A pesquisa em tela possui como tema a segurança voltada a processos, através da identificação e avaliação dos riscos e cenários em uma indústria de fertilizantes utilizando os métodos HAZID, HAZOP e ALARP para o alcance do objetivo.

2. BREVE REVISÃO DA TEORIA

Ao considerar-se a segurança de processos, deve-se ter em mente que diversos acidentes e grandes desastres ocorridos no mundo e divulgados pela mídia, têm deixado claro para todos os tipos de organizações que não basta se diferenciar no mercado pela competitividade e lucro (BENIT, 2004). Também é necessário evidenciar e demonstrar de forma inequívoca às partes interessadas uma atuação ética e responsável quanto às condições de segurança e saúde no ambiente de trabalho e quanto às suas interrelações com o meio ambiente. Entes estes que podem ser indivíduos ou grupos que têm interesse ou podem ser afetados pelo desempenho da organização, como, por exemplo, os trabalhadores, clientes, acionistas, sociedade, governo, sindicatos, fornecedores e agentes financiadores.

2.1 ALGUNS CONCEITOS DE BASE EM SEGURANÇA DE PROCESSOS

Dois conceitos importantes e básicos no âmbito da segurança como um todo referem-se aos perigos e aos riscos. De um modo geral, pode-se afirmar que enquanto perigo é um

atributo de um objeto ou atividade que tem o potencial para causar danos ou perdas, o termo risco está relacionado à probabilidade ou chance de um dano ou uma perda associados à deflagração e severidade do perigo sob determinadas condições (OHSAS 18001, 1999).

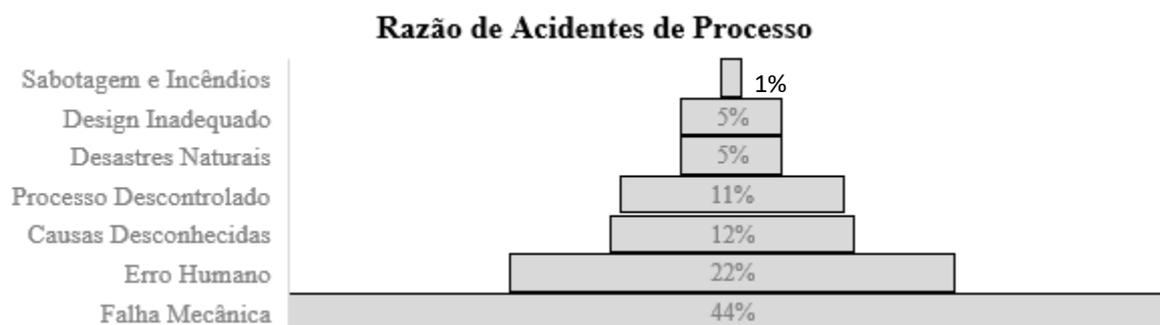
De forma complementar aos conceitos trazidos pela OHSAS 18001, é possível ainda considerar o que expõe Jones (1992), o qual afirma que o perigo pode ser expresso como a fonte de um potencial dano, ou uma situação com potencial para causar uma perda. O autor afirma ainda que é preciso enfatizar que perigo é um potencial para tais danos ou perdas e não uma perda ou dano já concretizados. Neves e Araújo (1996), por sua vez, reiteram e ampliam este conceito, ao afirmar que o perigo pode ser entendido como fonte ou situação com potencial para provocar danos em termos de lesão, doença, dano à propriedade, dano ao meio ambiente ou uma combinação desses.

Quanto ao risco, Neves e Araújo (1996) explicam o risco como sendo a combinação da probabilidade de ocorrência e da consequência de um determinado evento perigoso, ou seja, tudo o que pode causar acidente ou com potencialidade/probabilidade de causar acidente. Os autores ainda afirmam que o risco pode ser entendido desdobrando-se ele como o risco pessoal (humano), que pode causar os mais variados acidentes a qualquer instante; como o risco material (condição insegura), ligado a aspectos como ambiente, máquinas, equipamentos ou ferramentas; ou, como o risco administrativo, advindo de elementos da administração, da gerência, da supervisão ou quem os representar diretamente.

Chinaqui (2012), por seu turno, aponta as prováveis causas dos maiores acidentes de processo, mostrando que o maior número de acidentes foi causado por falhas mecânicas, ocasionadas por problemas de manutenção, conforme observado na Figura 1. Segundo ele, equipamentos tais como bombas, válvulas, tubulações e equipamentos de controle irão falhar caso não sejam submetidos a um adequado plano de manutenção, embora o erro humano ainda seja um dos mais importantes, perfazendo a segunda maior causa dos acidentes de processo.

De fato, quase todos os acidentes, exceto aqueles causados por desastres naturais, podem ser atribuídos por erros humanos, incluindo os casos onde falhas mecânicas podem ocorrer associadas a falhas humanas como, por exemplo, por consequência de uma inadequada manutenção ou inspeção.

Figura 1. Causas de Acidentes de Processo na Indústria Química



Fonte: Adaptado de Chinaqui, 2010.

Dentro deste contexto, Diniz *et al.*, (2010) discutem mais a fundo o conceito de Gestão de Segurança de Processo (GSP), onde apontam a gestão de ativos como elemento vital para manutenção das plantas de processo. Assim, a abordagem ampla e sistêmica da GSP seria desenvolvida em conjunto com a visão da conservação das barreiras preventivas e mitigatórias, cuja criticidade é determinada pela identificação dos principais cenários potenciais de acidentes e funções críticas dentre os ativos do processo. A visão sistêmica, neste contexto, seria contemplada junto com a gestão da integridade de ativos e excelência operacional, conduzindo a GSP à sua efetividade técnica e pretendida consolidação da nova cultura de segurança, na qual os principais objetivos são:

- Avaliar a condição de gerenciamento da integridade das barreiras de proteção preventivas e mitigadoras para os cenários de risco da planta;
- Evidenciar a existência de práticas operacionais e gerenciais que garantem a segurança através do grau de cumprimento dos requisitos definidos nos padrões e normas dos elementos sistêmicos de Segurança de Processo avaliados;
- Contribuir para formação de cultura preventiva em Segurança de Processo.

Diniz *et al.*, (2010) ainda enfatizam que o gerenciamento em Segurança de Processos tem foco nos grandes acidentes potenciais, capazes de provocar consequências catastróficas. Isso implica no conhecimento dos perigos e gerenciamento dos riscos, uma vez que tais riscos, como variáveis probabilísticas, não podem ser eliminados dos ativos do processo.

A visão de Segurança de Processo Baseada no Risco (ver Figura 2) é articulada a partir de quatro eixos (CCPS, 2007), quais sejam: (i) Comprometimento com a Segurança de Processo; (ii) Entender os perigos e avaliar os riscos; (iii) Gerenciar os riscos; e, (iv) Aprender com a experiência.

Figura 2. Quatro Pilares da Segurança de Processo Baseada em Risco

<p>Comprometimento com a Segurança de Processo</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1. Cultura de Segurança do Processo • 2. Atendimento às Normas • 3. Competência em Segurança de Processo • 4. Envolvimento da Força de Trabalho
<p>Entender os perigos e avaliar os riscos</p> <ul style="list-style-type: none"> • 5. Atendimento aos Stakeholders • 6. Gerenciamento de Conhecimento de Processos
<p>Gerenciar os riscos</p> <ul style="list-style-type: none"> • 7. Identificação dos Perigos e Análise de Riscos • 8. Procedimentos Operacionais • 9. Práticas de Trabalho Seguro • 10. Confiabilidade e Integridade Mecânica • 11. Gerenciamento de Contratos • 12. Treinamento e Acompanhamento de Performance • 13. Gerenciamento de Mudanças • 14. Prontidão Operacional • 15. Condução de Operações
<p>Aprender com a experiência</p> <ul style="list-style-type: none"> • 17. Investigação de Incidentes • 18. Métricas e Indicadores • 19. Auditorias • 20. Gerenciamento de Revisões e Melhoria Contínua

Fonte: Adaptado CCPS, 2007.

2.2 A GESTÃO DE RISCOS APLICADA A PROCESSOS

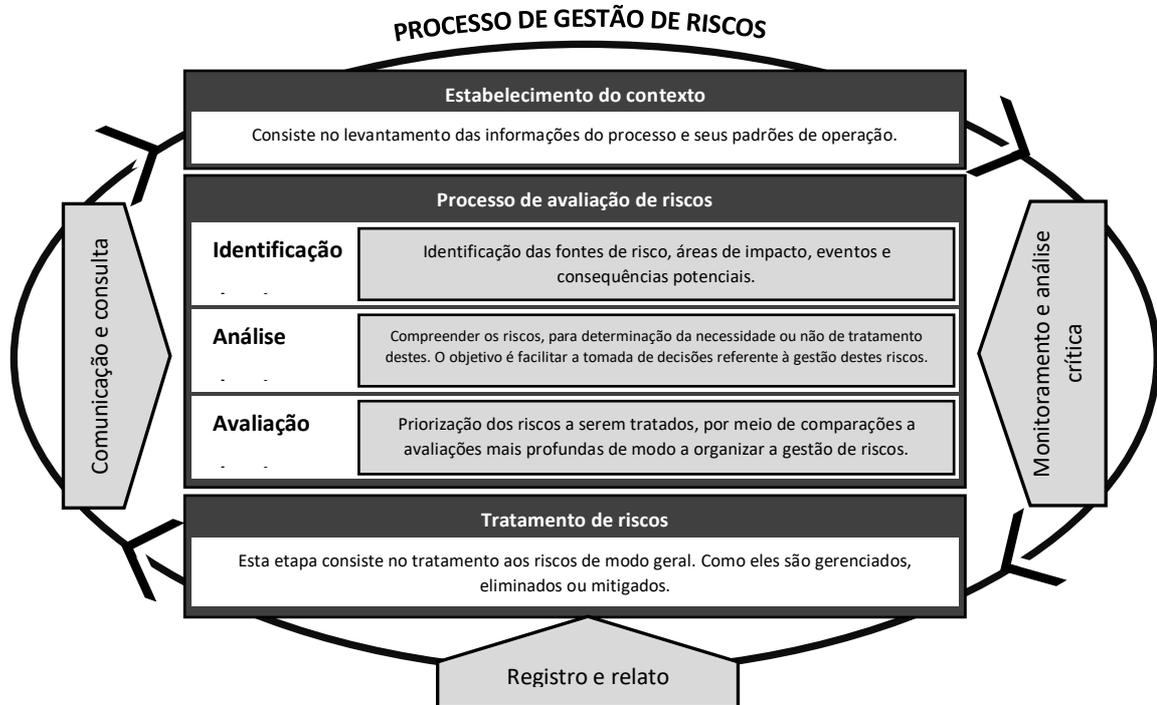
De maneira direta e abrangente, a ISO 31000 traz à tona que todas as atividades de uma organização envolvem sempre algum grau de risco. Deste modo, é preciso gerenciar estes, identificando-os, analisando-os e avaliando-os quanto à necessidade de modificá-los e controlá-los, de modo a atender determinados critérios. Ao longo de todo este processo, a gestão comunica e consulta às partes interessadas, monitora e analisa criticamente o risco e os controles que o modifica, a fim de assegurar que nenhum tratamento de risco adicional seja requerido (ABNT, 2018).

Ao longo do tempo foram desenvolvidos diversos modelos de gerenciamento de riscos pelas organizações, dentre os quais se destaca aquele abrangido no presente trabalho, o qual considera as definições propostas pela ISO 31000 (ABNT, 2018).

A norma ISO 31000 surgiu a partir da necessidade de se estabelecer um padrão normativo para a área de Gestão de Riscos e vem sendo aplicada por diversas organizações dentre as quais, muitas buscam certificações específicas. Ela fornece os fundamentos e os arranjos que irão incorporá-la através de toda a organização, em todos os níveis, além de auxiliar na gestão eficaz em diferentes níveis e dentro de contextos específicos da organização. Tal estrutura, a qual apresenta-se esquematicamente na Figura 3, assegura que a informação sobre riscos proveniente desse processo seja adequadamente reportada e utilizada como base

para a tomada de decisões, as quais são responsabilidade de todos os níveis organizacionais aplicáveis.

Figura 3. Processo de Gestão de Riscos



Fonte: Adaptado ISO 31000, 2018.

Mecanismos de gestão de riscos podem já existir total ou parcialmente na organização, contudo, podem ser adaptados ou melhorados, de forma que a gestão seja eficiente, eficaz e consistente. O processo de gestão de riscos é iterativo, embora seja apresentado frequentemente como sequencial. De modo que o primeiro mecanismo apresentado é a comunicação e consulta com as partes interessadas, as quais devem ocorrer em cada etapa e durante todo o processo. O objetivo é auxiliar na compreensão do risco, na base sobre a qual as decisões são tomadas, além de promover a conscientização (ABNT, 2018).

Segundo a norma ISO 31000:2018 estabelecimento do contexto, conforme Figura 3, ainda tem o propósito de definir o escopo, planejando como o processo de gestão de riscos será aplicado em seus níveis (estratégico, operacional, programa, projeto, outras atividades), os objetivos pertinentes e seu alinhamento aos objetivos organizacionais. Posterior a isso, convém lançar mão do “método” de avaliação de riscos, no qual dispõe da identificação, análise e avaliação devidos. Enquanto no tratamento de riscos segue formular, selecionar e implementar tratamentos, além de avaliar a eficácia do tratamento e repensar em um adicional caso seja necessário. Praticamente desenvolve-se um PDCA nesta etapa.

Sob a égide do monitoramento e análise crítica, é assegurado a melhoria e eficácia da concepção, implementação e resultados como um todo, de todos os estágios do processo. Para isso, é imprescindível a coleta e análise de informações, registro dos resultados, e fornecimento de retorno, sendo incorporados nas atividades de gestão de desempenho, medição e relatos da organização. Surgindo assim, o registro e relato do processo que visa comunicar atividades e resultados de gestão de riscos em toda a organização.

Apesar do padrão apresentado pela norma, muitas vezes as empresas desenvolvem metodologias próprias, que melhor condizem com as suas realidades. Porém, em quase sua totalidade acabam por seguir um caminho e conceitos que convergem com o padrão apresentado anteriormente.

2.3 UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DURANTE O PROCESSO DE GESTÃO DE RISCOS

Conforme pode-se verificar na própria NBR ISO/IEC 31.010, há um elevado número de técnicas possíveis de serem usadas durante a Gestão dos Riscos. Tais técnicas devem ser escolhidas conforme sua aplicabilidade ao que pretende-se obter. Dentre tais técnicas o HAZOP merece especial atenção, dadas as vantagens oferecidas pelo seu uso. Complementar esta técnica há ainda uma técnica denominada HAZID, que na empresa abrangida pelo presente trabalho é utilizada para efeitos triagem dos locais prioritário antes da aplicação do HAZOP. Há ainda as técnicas LOPA e SIL, as quais são utilizadas no momento das ações identificadas como necessárias após aplicação do HAZOP.

2.3.1 Compreendendo o hazid e sua função na identificação dos perigos

A técnica HAZID, do acrônimo em inglês Hazard Identification, tem como finalidade a identificação da natureza e a escala de intensidade dos perigos, que podem acontecer durante uma operação. É um processo sistemático que objetiva evitar ou mitigar todos os impactos relacionados aos perigos identificados, tornando-se um passo essencial na avaliação e gestão dos riscos (SIDDIQUI *et al.*, 2014).

Dessarte auxilia identificar todas as interações potenciais entre materiais, processos, pessoas e meio ambiente. O HAZID pode ser baseado na hierarquia de controle de riscos previamente estabelecida na organização (ver Figura 4), os quais requerem uma forma de controle, a fim de mitigar os riscos.

Para usar tal técnica, primeiramente divide-se a instalação em partes, pela dificuldade de cobrir o projeto em uma única avaliação de riscos ou planilha. Na sequência, a ferramenta traz uma série de perigos relacionados a riscos típicos de uma instalação ou planta, sendo que outros podem ser adicionados conforme necessidade local. Para cada perigo listado, deve-se descrever o impacto e o controle (proteção de segurança requerida).

Figura 4. Matriz de Classificação de Riscos HAZID

	Alto Risco	Frequente	Medio	Baixo	Muito baixo	Extremamente baixo	Raramente
Médio Risco		Mais de uma vez por ano	Mais de uma vez a cada 10 anos	Mais de uma vez a cada 100 anos	Mais de uma vez a cada 1000 anos	Mais de uma vez a cada 10.000 anos	Mais de uma vez a cada 100.000 anos
Baixo Risco		5	4	3	2	1	0
		Mais de 1/ano	Entre 1/ano e 1/10ano	Entre 1/10ano e 1/100 ano	Entre 1/100ano e 1/1.000ano	Entre 1/1.000 ano e 1/10.000ano	De 1/10.000ano para menos
Catastrófico	1		4	3	2	1	
Crítico	2		3	2	1		
Perigo Alto	3		2	1			
Perigo Médio	4		1				
Perigo Baixo	5						

Fonte: Procedimento interno da empresa objeto de estudo, 2017.

O risco residual pode ser alto, médio ou baixo. O objetivo é um nível tão reduzido quanto seja razoavelmente praticável, que na língua inglesa é identificado pela sigla ALARP (As Low As Reasonably Practical). Quando o risco associado com um cenário foi reduzido a tal ponto que o benefício de uma redução maior não é compatível com os custos para essa redução, então pode-se dizer que foi reduzido a ALARP.

2.3.2 A técnica hazop e suas principais características

Segundo Aguiar (2008), a técnica denominada HAZOP, acrônimo extraído dos termos em inglês Hazard and Operability Studies, que em português pode ser expressada como Análise

de Perigos e Operabilidade, visa identificar os problemas de operabilidade de uma instalação de processo, revisando metodicamente o projeto da unidade ou de toda instalação.

Diniz *et al.*, (2007), ainda destacam que a técnica HAZOP consiste, fundamentalmente, numa busca estruturada das causas de possíveis desvios em variáveis de processo, como temperatura, pressão, vazão ou composição, em diferentes pontos do sistema durante a operação, e que são denominados nós de estudo ou simplesmente nós. Os nós, por seu turno, são conceituados como sendo os pontos do processo, localizados através de fluxogramas da planta, os quais serão analisados em casos de ocorrência de desvios, conforme explica Aguiar (2008).

Para Matos (2009), um estudo de HAZOP deve contar com a participação de uma equipe multidisciplinar, formada por especialistas de engenharia, instrumentistas, operadores, além de engenheiros e técnicos de segurança. O êxito do estudo depende da experiência dos participantes. Este autor apresenta uma sequência de passos tradicionalmente aplicada em um estudo dirigido de HAZOP, sendo eles:

1. Separar o sistema em seções ou nós;
2. Combinar as palavras-guia (ex.: Sem, Mais, Menos) com os parâmetros (ex.: Fluxo, Nível, Pressão) gerando os desvios;
3. Para cada desvio, listar as possíveis causas (razões pelas quais os desvios ocorrem), consequências (resultados dos desvios), salvaguardas existentes e frequência de ocorrência do evento avaliando a necessidade ou não de alguma recomendação.

Palavras-guia são palavras simples utilizadas para qualificar a intenção do processo, guiando e estimulando a criatividade da equipe a fim de identificar desvios. As sete palavras-guia comumente utilizadas são: Sem, Mais, Menos, Bem Como, Parte de, Reverso, Outro.

Parâmetros são os parâmetros aplicáveis ao processo sendo avaliado, como por exemplo fluxo, pressão, temperatura, nível e concentração.

O desvio é a aplicação sistemática de palavras-guia a parâmetros do processo como, por exemplo a combinação de Mais com Pressão, resultando em Alta Pressão. O perigo ou problema operacional surge de um desvio da intenção do projeto ou da operação, por exemplo: a alta pressão pode causar ruptura ou explosão de um tanque.

O objetivo final das recomendações será promover mudanças no projeto que aumentem a margem de segurança frente aos desvios, de forma que, dependendo da magnitude do desvio, as consequências não tenham grandes impactos tanto na segurança do processo quanto na operação.

Quanto à natureza dos resultados a se obter no HAZOP, Aguiar (2008) argumenta que os principais resultados obtidos através da aplicação da técnica são a identificação dos desvios que possam gerar eventos perigosos ou desvios do padrão normal de operação e uma avaliação das consequências e seus efeitos. Ademais, podem ser recomendadas mudanças no projeto, estabelecimentos ou mudança nos procedimentos de operação, teste e manutenção. Portanto, os resultados obtidos são puramente qualitativos, não fornecendo estimativas numéricas nem qualquer tipo de classificação em categorias.

2.3.3 A técnica lopa e sil e suas contribuições na gestão de riscos

O termo LOPA, proveniente do acrônimo Layer of Protection Analysis consiste em uma abordagem que analisa um cenário de incidente de cada vez, usando valores predefinidos para a frequência de evento inicial, probabilidades independentes de falha da camada de proteção e gravidade da consequência, com a finalidade de comparar uma estimativa de risco do cenário aos critérios de risco para determinar onde é necessária uma redução adicional do risco ou uma análise mais detalhada (CCPS, 2018).

Portanto, o LOPA, que pode ser entendido em uma tradução livre por Análise de Camada de Proteção, com o foco em determinar se existem dispositivos ou camadas de proteção aplicáveis a um risco residual aceitável. Esta técnica utiliza de 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), permitindo calcular o risco aproximado de um cenário (CHINAQUI, 2012). Conforme mencionado acima pelo CCPS (2018).

Por seu turno, o SIL, termo proveniente de *Safety Integrity Levels*, ou em português Níveis de Integridade de Segurança é definido tomando por base padrões como IEC 61058, 61511 e ISA S84.01, e fornece uma definição quantitativa comum para o potencial de redução de risco de uma função de segurança (CCPS, 2018).

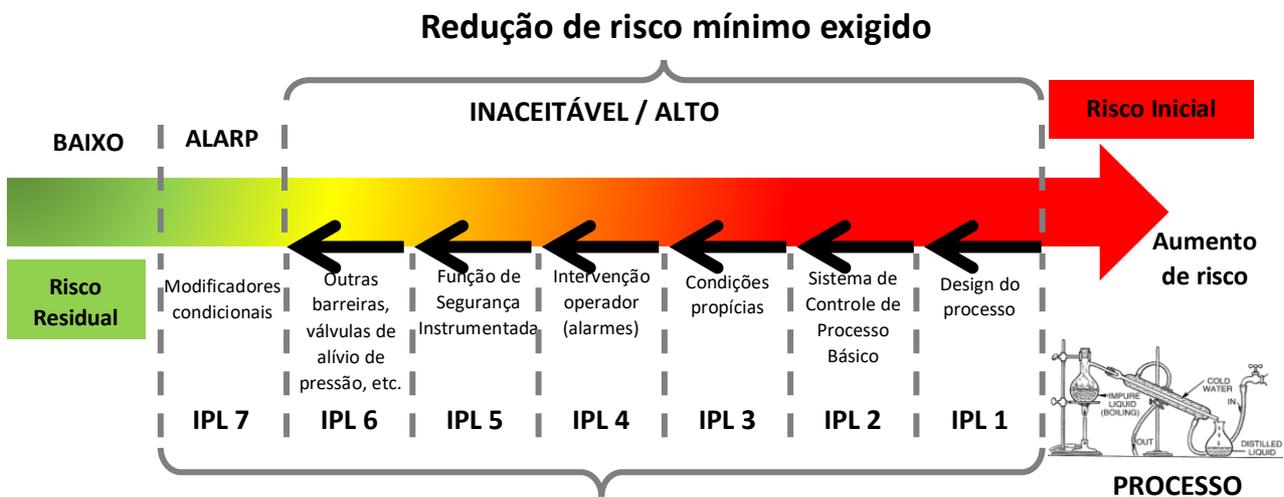
A confiabilidade das barreiras que devem ser instaladas é quantificada em termos de SIL. O resultado obtido é usado para funções de segurança, bem como para determinar outras barreiras. Quanto mais alto o SIL equivalente, assume-se que mais confiável deve ser a barreira. O método aplicado na empresa objeto de estudo utiliza uma abordagem simplificada, trabalhando com probabilidades e frequências em passos de 10, ou seja, 0,1, 0,01, 0,001, e assim sucessivamente.

Complementando o conceito de confiabilidade das barreiras tem-se o conceito de Probabilidade de Falha sob Demanda (PFD), que traduz a probabilidade de uma barreira falhar, caso seja utilizada de modo a mitigar o risco. E este é obtido pelas Equações (1) e (2), ou seja, através do produto da redução de risco da barreira. A Figura 5 exemplifica a LOPA.

$$\text{Fator de Redução de Risco (FRR)} = \text{FRR}_1 + \text{FRR}_2 + \dots + \text{FRR}_N \quad (1)$$

$$\text{Probabilidade de Falha sob Demanda (PFD)} = 1/\text{FRR} \quad (2)$$

Figura 5. Exemplo da categorização da LOPA



Fonte: Empresa Objeto de Estudo, 2017.

3. METODOLOGIA

No tocante à abordagem, o presente estudo se caracterizou por ser uma pesquisa qualitativa, uma vez que os dados foram analisados por meio do contato direto com o ambiente e a situação a qual está sendo investigada. Cabe trazer aqui o que expõe Gil (2017), ao afirmar que o uso de abordagem qualitativa propicia o aprofundamento da investigação das questões relacionadas ao fenômeno em estudo e das suas relações, mediante a máxima valorização do contato direto com a situação estudada, buscando-se o que era comum, mas permanecendo, entretanto, aberta para perceber a individualidade e os significados múltiplos.

Já, pelo ponto de vista da natureza da pesquisa, se tem no presente estudo uma pesquisa aplicada uma vez que esta objetiva gerar conhecimentos para a aplicação prática direcionados à solução de problemas e/ou ações de melhorias para situações específicas. Este tipo de pesquisa, segundo contextualiza Appolinário (2011) é realizada com o intuito de resolver problemas ou necessidades concretas e imediatas sendo que, nela os problemas emergem do

contexto profissional e podem ser sugeridos pela instituição para que o pesquisador solucione uma situação-problema.

Por fim, e quanto ao procedimento de pesquisa, o presente trabalho se caracteriza como um estudo de caso, pois realiza um estudo detalhado de uma série de aplicações de técnicas utilizadas no âmbito da indústria química, em um processo de gestão de riscos. Gil (2017) destaca que os resultados deste tipo de pesquisa, definido como: “O estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento.” costuma ser utilizado tanto como estudo-piloto para esclarecimento do campo da pesquisa em seus múltiplos aspectos quanto para a descrição de síndromes raras. Seus resultados, de modo geral, são apresentados em aberto, ou seja, na condição de hipóteses, não de conclusões.

O objeto de estudo no presente trabalho consiste na aplicação da técnica HAZOP em um processo químico de uma indústria de fertilizantes, realizando um levantamento dos possíveis cenários de desvio do padrão normal de operação dentre os locais classificados como críticos e suas possíveis consequências. O processo químico abrangido na referida unidade de produção, engloba a acidulação e a granulação, as quais tem o objetivo de transformar rocha e minerais em fertilizantes granulados com alto teor nutritivo para plantas.

A definição do local de estudo, oriundo das análises de HAZID utilizadas no trabalho de TEJADA (2017), direcionaram este estudo a realizar a aplicação da metodologia do HAZOP no sistema de alimentação da fornalha à cavaco, componente do processo de granulação. Os procedimentos desta técnica são divididos em etapas descritas no Quadro 1:

Quadro 1. Etapas do HAZOP

Etapa	Descrição da Etapa
1. Preparação do HAZOP	O líder do HAZOP garantiu que todas as informações referentes ao processo analisado estariam disponíveis antes que a equipe se reunisse para analisá-lo. A liderança do HAZOP fez, então, o levantamento das informações coletando especificações de equipamentos, capacidade do processo, matéria prima utilizada, procedimentos e instruções operacionais. O Diagrama do Sistema Produtivo e a definição dos nós de estudo foram itens imprescindíveis nesta etapa.
2. Identificação das possíveis causas e consequências dos cenários de desvio de operação em cada nó e identificação das barreiras de proteção	De acordo com cada nó estudado, realizou-se o levantamento das possíveis causas e consequências dos cenários de desvio do padrão de operação. Coube ao líder de equipe neste ponto fazer uma análise mais detalhada de um sistema, bem como os possíveis cenários sugeridos pela planilha do HAZOP, estimulando a equipe através de perguntas chave e a consideração de todas as possíveis causas que poderiam levar o acontecimento do cenário em questão.

3. Análise das barreiras de proteção necessárias e determinação do nível de integridade de segurança necessário ao sistema analisado	Com base na consequência do evento, devidamente descrita no HAZOP, a equipe estimou o potencial de gravidade da consequência deste evento, porém sem as camadas de proteção em funcionamento, e considerando que nenhuma medida de controle preventivo estivesse ativa, para assim determinar o quão severo o evento analisado seria em relação aos danos humanos, ambientais e produtivos. Classificou-se de acordo com uma matriz de severidade do evento, considerando uma escala de 1 a 5, sendo 1 a situação mais severa.
4. Determinação de meios de proteção de modo a eliminar os possíveis desvios de padrão de operação que possam comprometer a segurança de processo.	A equipe revisou todas as barreiras de proteção listadas durante a geração da planilha HAZOP e analisou se elas eram suficientes para corresponder ao nível de integridade de segurança requerido pelo sistema. Os tipos de barreiras de proteção analisados foram avaliados de acordo com a probabilidade de falha sob demanda.

Fonte: Autores, 2019.

A equipe formada e envolvida na etapa 1 descrita no Quadro 1 continha profissionais de diversas áreas, sendo eles: Analista de Segurança de Processos, Engenheiro de Processos, Especialista de Produção, Técnico de Segurança, Analista de Manutenção, Analista de Meio ambiente, Estagiário Segurança, além da participação de Operadores de Produção.

A frequência dos eventos iniciais, citados na etapa 2 do Quadro 1, foram atribuídas considerando uma frequência para cada causa de cada um dos eventos listados no HAZOP. É possível ver a classificação adotada para a frequência neste caso na Tabela 1.

Tabela 1. Frequência do evento inicial

Frequência do Evento Inicial	
F:	Mais de uma vez por ano
E:	>0,1/ano a 1/ano
D:	>0,01/ano a 0,1/ano
C:	>0,001/ano a 0,01/ano
B:	>0,0001/ano a 0,001/ano
A	>0,0001/ano para menos

Fonte: TEJADA, 2017.

O potencial de gravidade de ocorrência, citado na etapa 3 do Quadro 1, foi determinado com base na gravidade da consequência e na frequência inicial do evento. Cada barreira de proteção foi, individualmente, classificada utilizando-se a experiência prévia da equipe em sua vivência no processo. Os dados foram então combinados de forma a obter o nível de integridade

combustão, liberam energia calorífica. Estes fatos constituem o que na empresa convencionou chamar por 3Ts da combustão, que são acrônimo proveniente dos termos Temperatura do combustível, Tempo de Execução e Turbulência do ar.

A fornalha a cavaco sob análise possui algumas das características gerais, as quais cabe serem destacadas, sendo elas:

- Capacidade calorífica: 15.000.000 Kcal/h;
- Pressão da fornalha admissível: 5 a 8 mmH₂O;
- Combustível (fonte de calor): Cavaco (umidade máxima 50%) em toras;
- Temperatura máxima: 1.200 graus Celsius;
- Alimentação: 6 ton/h.

Para sua operação alguns equipamentos principais são identificados, dentre os quais pode-se citar:

- Ventilador primário 120-CC-16;
- Ventilador secundário 120-CC-17;
- Unidade hidráulica 120-UH-01A e B;
- Unidade de extração de cinza.

Durante a análise, optou-se por separar o processo de funcionamento da fornalha em 2 nós, os quais também apresentados na Figura 5 contornados por uma linha azul. O primeiro nó é denominado Sistema de Combustível (alimentação e transporte de cavaco) e inicia no pátio da empresa, tendo seu limite na entrada da segunda moega (120-AA-02), limitando-se ao caminho percorrido de transporte da referida origem do nó para a câmara de combustão da fornalha, pelas moegas e correias transportadoras, identificadas na Figura 5 pelos códigos 490-MG-01, 490-TP-01A, 490-TP-01B, 490-TP-02, 490-TP-03 e 490-TP-04. Este consiste em um processo de transporte, sem alterações físicas nem químicas no cavaco, podendo haver alguma degradação física durante o transporte, sendo que a operação funciona sob temperatura ambiente e pressão atmosférica.

O Nó 2, por sua vez, é denominado Sistema de Alimentação (fornalha e roscas dosadoras), o qual tem sua fronteira inicial na moega da fornalha e seu limite de saída na entrada do secador do granulador. Esta operação contém válvulas rotativas que são acionadas junto com o helicóide usando como fonte de energia mecânica o mesmo motor.

Na análise desenvolvida na primeira etapa, isto é, para o Nó 1, o primeiro cenário de desvio proposto foi o de “nenhum fluxo”. Sete possíveis causas e suas consequências foram descritas para o referido desvio, variando desde falta de disponibilidade de pá carregadeira até

queda de energia elétrica. Nele, as principais possíveis consequências levantadas estão em geral relacionadas à falta de combustível na fornalha, podendo acarretar perdas de produção e até acidentes, dependendo da ação imediata do operador.

Após identificação dos desvios, a frequência do evento inicial para cada situação (causa) foi investigada culminando em valores baseados na Tabela 1. Em seguida, o modificador condicional mais condição de habilitação e o fator de exposição conforme parâmetros para PFD.

O passo seguinte consiste em efetuar a análise de mais 5 possíveis cenários (desvios) propostos pela ferramenta sendo eles: menor fluxo, alta temperatura, alto nível, desligamento e contaminações. As possíveis causas estão relacionadas principalmente com quebras de equipamentos devido às falhas operacionais e paradas da fábrica, e as possíveis consequências são variadas, incluindo-se incêndios, entupimento e quebras de peças e decorrente limitação de capacidade de maquinário.

Adicionalmente, a equipe discutiu sobre mais 8 possíveis cenários propostos pela ferramenta, sendo eles: amostragem, falta de eletricidade, manutenção, inspeções e testes, corrosão, eletricidade estática, sistemas de controle e peças de reposição. Decidiu-se que as possíveis causas para estes 8 cenários estão relacionadas às intervenções de operadores para amostragens, manutenções, lubrificações e inspeções e também, a desgastes do equipamento, travamento de esteiras, fricção da matéria prima, e falta de peças de reposição. Já, as possíveis consequências estão principalmente relacionadas à lesões pessoais, a quedas de materiais, vazamentos e paradas e perdas de produção. Os resultados dessa análise foram devidamente catalogados em uma planilha especificamente desenvolvida para este fim e que, posteriormente, nortearam as discussões apresentadas nos parágrafos a seguir.

A análise inicial relacionada ao Nó 2, analogamente ao Nó 1, começa a partir do cenário de “nenhum fluxo”, em que as possíveis causas que levariam à falta de fluxo são falhas no sensor de nível, nos helicoides e na esteira rotativa, e as consequências se resumem em perdas de produção. Os próximos cenários analisados foram referentes à pressão alta, aumento de fluxo e redução de fluxo, os quais têm por possíveis causas falta de qualidade da matéria prima, falha elétrica, erros operacionais e falhas de dispositivos, e as consequências possíveis vão desde a operação ineficiente por estar fora dos padrões normais até a exposições de perigos aos operadores, como a geração de calor excessivo, combustão de materiais e aumento de temperatura na entrada do secador.

No cenário de pressão alta o que se tem é a predominância de possíveis causas que levariam ao aumento excessivo de pressão do sistema estudado, porém a maioria dessas causas seriam oriundas de uma combinação de falhas operacionais (como falha de higienização e falha na abertura de válvulas) geradoras de falhas em dispositivos que em decorrência do aumento da pressão do sistema resultam em aumento da temperatura, incêndios ou vazão de labaredas.

Quanto ao cenário de pressão baixa, não foi necessário o desmembramento das consequências, uma vez em que esta não gerou riscos. Já, no cenário de alta temperatura, as possíveis causas podem ser oriundas de falhas no medidor de temperatura e falha no controlador de temperatura, e em decorrência não desarmaria a fornalha e levaria à danos ao seu refratário. Enquanto o cenário de temperatura baixa, as falhas em dispositivos como inversores e controladores como causas, acarretam danos à qualidade do *output*. A parada de componentes por falhas elétricas e mecânicas e quebras como causas, gera como consequências a concentração de calor na entrada do secador levando a danos no equipamento e perdas de produção pois contribui com a perda de qualidade do produto.

Na sequência, e ainda para o Nó 2, a equipe passou a analisar os cenários para níveis, falta de eletricidade e contaminação. As possíveis causas para esses desvios são falhas em sensores e problemas em subestações, os demais cenários já foram contemplados em etapas anteriores. As consequências são pouco prováveis, mas resumem-se em danos à produção, ao produto e incêndio devido em caso de falhas na subestação. Por fim, efetuou-se as análises para os cenários de explosões e emissões. Neste, a causa é a concentração de gases, levando à pressurização da fornalha e resultando na explosão dela. Também se tem a queima não completa do cavaco, resultando em CO e fuligem, prejudicando assim, o meio ambiente.

4.2 ANÁLISE DAS BARREIRAS DE PROTEÇÃO NECESSÁRIAS E DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE INTEGRIDADE DE SEGURANÇA NECESSÁRIO AO SISTEMA ANALISADO

As análises das barreiras de proteção necessárias ao sistema, bem como as barreiras de proteção já existentes para cada cenário são apresentadas de forma resumida para cada um dos dois nós do processo, conforme as Figura 7, 8, 9, e 10. Após análise e discussão, concluiu-se que as barreiras de proteção existentes na operação são satisfatórias, garantindo o funcionamento do processo em um nível de segurança suficiente. Para o Nó 1 existe uma barreira de proteção (*Passive Protection Devices*) a qual refere-se as roscas redundantes no sistema de alimentação da fornalha, ou seja, se uma rosca de alimentação de combustível do

sistema falhar, existe outra que entra em ação. As outras barreiras de proteção existentes neste nó estão relacionadas à operação individual por funcionário e, para cada cenário de desvio de operação, existe um procedimento descrevendo as ações do operador de modo a eliminar ou reduzir as consequências. Além disso, existe ainda uma barreira de proteção referente ao *Basic Process Control System* (BPCS), que neste caso, corresponde ao Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA).

Figura 7. Análises das barreiras do Nó 1

Nº	Classificação consequências			Nível de segurança requerido			Nível de segurança instalado	Salvaguardas												
	FH	Amb	Fin	FH	Amb	Fin		Equivalente geral expresso SIL	BPCS		Intervenção do operador			SIS			Dispositivo de proteção passiva		Consequências automáticas	
									Item	PFD	Item	PFD	SIL alcançado	Min. SIL recomendado	PFD	Item	PFD	Item	PFD	
1.5	0	0	5	OK	OK	OK	OK	1.00		1		1	0	Não requerido	1	Roscas redundantes – com uma rosca estragada o fluxo segue, não é preciso parar	0.1		1	
7.1	4	0	3	OK	OK	OK	OK	1.00		1	Regra de ouro: proibido fumar; Sistema de Permissão de Trabalho para atividades de Trabalho a quente	0.1	0	Não requerido	1		1		1	
12.1	0	0	5	OK	OK	OK	OK	1.00		1	Recomendação para paradas operadores a dois ? com o ? da Moega 01 o correias transportadoras do cavaco vazio	0.1	0	Não requerido	1		1		1	
12.2	4	0	3	OK	OK	OK	OK	1.00		1	Recomendação para paradas operadores a dois ? com o ? da Moega 01 o correias transportadoras do cavaco vazio	0.1	0	Não requerido	1		1		1	
13.2	0	0	4	OK	OK	1	1	1.00		1	Entrada com a fornalha a ?	0.1	0	0	1		1		1	
14.1	3	0	0	-	OK	OK	0	0.00		1	Operadores de cavaco têm a instrução de que precisam acompanhar o caminhão e orientar a manobra	1	0	0	1		1		1	
20.1	5	0	0	-	OK	OK	0	1.00		1	Procedimentos e métodos de trabalho devidamente descritos	0.1	0	Não requerido	1		1		1	
21.1	0	4	0	OK	-	OK	0	1.00		1	Colaborador usa uma bacia de contenção móvel para transporte e para sua atividade	0.1	0	Não requerido	1		1		1	
23.1	3	4	0	OK	OK	OK	OK	1.00	SPDA	0.1		1	0	Não requerido	1		1		1	

Fonte: elaborado pelos autores, 2019.

A análise referente às barreiras de proteção do Nó 2 são ilustradas nas Figuras 8, 9 e 10. Neste nó, as barreiras de proteção dos cenários apresentados são classificadas como BPCS e intervenção dos operadores, ou até mesmo encontra-se cenários com ambas as barreiras. As

barreiras classificadas como intervenção do operador resumem-se em inspeções e manutenções preventivas do maquinário, válvulas, controles entre outras. As ações orientadas para a intervenção do operador em caso de desvios do processo, como corte de alimentação de cavaco, limpezas e atuação em caso de alarmes também estão inseridas nestas intervenções previstas para o operador que atua no nó. Já as barreiras de proteção classificadas como BPCS resumem-se em alarmes de pressão alta integrados à dispositivos de desligamento automático do sistema, válvulas reguladoras de alimentação, as quais têm por finalidade regular a umidade do sistema, alarmes de temperaturas altas relacionados com dispositivos de desligamento automático, indicadores e geradores.

Figura 8. Barreiras de proteção Nó 2

Nº	Classificação consequências			Nível de segurança requerido			Nível de segurança instalado	Salvaguardas												
								BPCS		Intervenção do operador		SIS			Dispositivo de proteção passiva		Consequências automáticas			
	FH	Amb	Fin	FH	Amb	Fin	Equivalente geral expresso SIL	Equivalente geral expresso SIL	Item	PFD	Item	PFD	SIL alcançado	Min. SIL recomendado	PFD	Item	PFD	Item	PFD	
1.2	0	0	4	OK	OK	OK	OK	1.00		1	Inspeção preventiva dos mancais	0.1	0	Não requerido	1.000	1			1	1
1.4	0	0	4	OK	OK	OK	OK	1.00		1	Manutenção preventiva	0.1	0	Não requerido	1.000	1			1	1
2.1	3	0	5	1	OK	-	1	1.00		1	Instalado proteção física com cadeado para evitar contato do colaborador em partes móveis do helicóide; Área de produção tem sistemática de reclamação quando ao bascular percebe-se a qualidade ruim do cavaco	0.1	0	0	1.000	1			1	1
3.1	3	0	2	OK	OK	1	1	2.00	Alarme de temperatura alta da fornalha; shutdown 1.200°C; alarme de temperatura alta entrada secador;	0.1	Operador diminui para alimentação do cavaco para sinalização no CLP; manutenção preventiva nos inversores	0.1	0	Não requerido	1.000	1			1	1
3.2	3	0	2	OK	OK	1	1	2.00		0.1	Operador diminui para alimentação do cavaco para sinalização no CLP	0.1	0	Não requerido	1.000	1			1	1
5.1	0	0	4	OK	OK	-	0	1.00	Alarme de temperatura alta da fornalha; shutdown 1.200°C; alarme de temperatura alta entrada secador; shutdown por pressão alta	0.1	Operador diminui para alimentação do cavaco para sinalização no CLP; rotina de limpeza da meia lua	1	0	Não requerido	1.000	1			1	1
5.2	4	0	5	OK	OK	OK	OK	1.00	Alarme de temperatura alta da fornalha; shutdown 1.200°C;	0.1		1	0	Não requerido	1.000	1			1	1

4.3 DETERMINAÇÃO DE MEIOS DE PROTEÇÃO DE MODO A ELIMINAR OS POSSÍVEIS DESVIOS DE PADRÃO DE OPERAÇÃO

Os pontos de melhoria sugeridos podem ser em virtude de o nível de segurança do sistema não corresponder ao mínimo requerido, para aumentar o SIL equivalente do sistema mesmo que o nível de segurança corrente já seja satisfatório, sanar *gaps* do processo identificados pela equipe, estabelecer procedimentos das atividades já realizadas, melhorar a qualidade do processo/produto, reduzir perdas, entre outros.

No que tange às análises do Nó 1, que corresponde basicamente ao sistema de alimentação e transporte do cavaco, a equipe identificou 6 pontos de melhorias, cada ponto relacionado com um cenário diferente. Em relação ao cenário de ‘falta de fluxo’ no sistema, existem duas recomendações feitas pela equipe. Primeiramente, foi identificado que a indisponibilidade de operadores de pás carregadeiras pode resultar em falta de combustível na fornalha, causando queda na temperatura, ocasionando uma umidade alta no produto que levará a uma perda de produção e paradas do processo. A segunda recomendação para ‘falta de fluxo’ é se o operador colocar cavaco demais na moega e a entupir, podendo resultar igualmente na perda de produção ou parada do processo.

Uma recomendação adicional é oriunda de possíveis paradas longas da fábrica na qual o sistema fique com cavaco no equipamento. Neste cenário, a madeira fica confinada, seca rápido, a umidade baixa e a exposição de radiação solar já seria suficiente para uma ocorrência de incêndio, trazendo risco às pessoas (lesão ocupacional) e perda de produção. Ao contrário deste cenário de umidade baixa, existe o cenário de umidade alta, como por exemplo em dias em que chove sobre o cavaco. Nesta possibilidade, o cavaco molhado tem dificuldade de queimar e assim manter a temperatura da fornalha. Por isso, o sistema acaba reduzindo sua carga térmica.

Além disso, a umidade afeta o sistema de ciclonagem, pois a temperatura de saída dos gases do secador é normalmente em torno de 100°C. Se for menor, há o risco de condensar vapor, e assim "sujar/entupir" o ciclone. Recomenda-se ainda uma melhoria no processo de descarga e amostragem do cavaco, no qual ocorre que o próprio operador de cavaco faz a amostragem de cavaco após o caminhão bascular (após a saída do caminhão). No entanto, há o risco de atropelamento quando da manobra do caminhão, porque os caminhões normalmente são grandes (caminhões com semirreboque acoplado) e o espaço de manobra é pequeno. Por fim, recomendou-se uma adequação do guarda-corpo das passarelas de acordo com as normas

regulamentadoras vigentes, uma vez que os operadores realizam inspeção visual pela correia como atividade de rotina e este local é passível de risco de acidentes.

No que concerne às recomendações feitas pela equipe em relação ao Nó 2, o qual corresponde à moega de alimentação, roscas dosadoras e fornalha, foram identificadas 16 oportunidades de melhoria.

As primeiras 2 recomendações estão relacionadas ao cenário de falta de fluxo, sendo o primeiro originado em uma possível falha no sensor de nível baixo de cavaco, que pode resultar em redução de cavaco no sistema e redução da temperatura de saída do secador, gerando produto úmido. Deste modo, cabe um trabalho específico que começa por identificar os pontos importantes da moega e nomeá-los com suas respectivas *tags*. Da mesma forma, a falha dos helicoides também pode gerar uma situação de falta de fluxo de cavaco no sistema, e resultar na diminuição da temperatura do secador por falta de combustível (cavaco).

Outras 4 recomendações estão relacionadas à um cenário de aumento da pressão do sistema. O primeiro deles é em relação à falha do medidor de pressão, que pode gerar um aumento da umidade do produto, queda de temperatura na saída do secador, aumento de temperatura na câmara. Ainda existe a possibilidade de o sistema de segurança de pressão não atuar, fazendo com que atue o de temperatura que, deste modo, pela pressão positiva, traz o risco de sair labaredas pela porta da fornalha, podendo expor os trabalhadores a riscos ocupacionais. O mesmo pode ocorrer, ao deixar portas dos equipamentos abertas, por falha operacional.

A segunda recomendação tem por objetivo garantir a abertura do damper, sempre que o sistema parar. Este damper (identificado na Figura 5 por DP03) deve abrir com o aumento de pressão na planta, a fim de evitar que concentre calor na fornalha, o que poderia levar a incêndio.

Foi identificado uma terceira possibilidade de falha no sistema que pode resultar no aumento da pressão, sendo que esta falha está relacionada à abertura da válvula PV29B (Ver Figura 5), o que gera o aumento da pressão na fornalha e da umidade do produto, com conseqüente queda de temperatura na saída do secador, aumento de temperatura na câmara e saída de fogo pelas portas de visita.

Por fim, a quarta recomendação consiste em sugerir um projeto de isolamento térmico do sistema de secagem, uma vez que este é feito através de dutos dos ventiladores, que ao serem sujos, diminuem a tiragem de ar para despressurização da fornalha, aumentando a pressão da câmara.

As 2 recomendações seguintes estão relacionadas à um cenário de aumento da temperatura do sistema, que podem ser originados por falhas do medidor de temperatura (TT214) e falha no controlador de temperatura (TIC 215), e, em caso de falha destes dispositivos, se a temperatura aumentar drasticamente, o sistema não irá desarmar. Ou seja, a barreira de segurança não é satisfatória. Sendo necessária uma instrução operacional quando houver alarme de alta temperatura do TT214 e uma redundância de equipamento para o TIC 215.

As próximas 3 recomendações são voltadas ao cenário de pressão baixa, podendo vir do controlador de temperatura (TIC 215), quando ele medir a temperatura como se estivesse alta, mesmo estando baixa, recomenda-se aqui incluir uma inspeção controladora do TIC 215 no plano de inspeção dos sensores da fornalha.

Na sequência, duas recomendações estão associadas à falha no sistema hidráulico e quebra da grelha na entrada do secador. Nestes casos, recomenda-se uma parada automática para as roscas dosadoras de entrada de cavaco. Atualmente, isso é feito pelos operadores. O risco nestes casos é de o fogo ficar concentrado no início da fornalha, o que geraria aumento da temperatura em um ponto e resultaria no aumento da umidade do produto, queda de temperatura na saída do secador e parada da unidade pois não é possível manter a qualidade do produto. Risco de ocorrer também dano ao refratário da fornalha se não parar o fornecimento de cavaco, pela concentração do fogo.

Foram feitas, ainda, recomendação de um sensor de temperatura na saída dos gases do secador para a possível falha do sensor de nível baixo da moega, o qual pode fazer com que a entrada de cavaco no sistema seja interrompida, causando danos à qualidade do produto pelo aumento da umidade. Também, foi recomendado um sistema de ignição da fornalha automático, uma vez que o sistema atual é manual e existe o risco à qualidade e segurança de processo. Por conseguinte, foi sugerido uma verificação completa do sistema SPDA da fornalha.

Por fim, foi identificado um remoto risco de explosão do sistema, o qual está relacionado ao confinamento de gases no sistema pelo entupimento da meia lua (sistema de liberação de gases), onde o confinamento dos gases levaria à pressurização da fornalha, com risco de explosão, deste modo, para aumentar o nível de proteção no sistema, foi recomendado instalar um sistema redundante de alarme de pressão alta.

5. CONCLUSÕES

A partir do HAZOP, é possível discutir os cenários que podem fazer a operação fugir do padrão normal de operação e ainda propor medidas mitigatórias. Portanto, ressalta-se o HAZOP é uma técnica que foge da simples identificação e classificação dos perigos e riscos, podendo contribuir integralmente no processo de gestão de riscos.

Identificou-se que de fato a técnica HAZOP analisa exaustivamente todas as partes de uma planta com a ajuda de oito a dez palavras-guia e parâmetros preestabelecidos, usando uma equipe de HAZOP de quatro a seis pessoas. As considerações de HAZOP são geralmente altamente detalhadas e podem levar a uma grande redução de falhas e perigos do sistema, bem como a melhorias nos níveis de segurança e operabilidade o que resulta, em última análise, em aumento da produtividade.

A aplicação da técnica HAZOP possibilitou identificar e avaliar plenamente os possíveis desvios no processo químico, objeto do estudo. Adjacente a essa avaliação determinou-se meios de eliminar ou reduzir o impacto de acidentes no processo industrial de granulação. Portanto, este trabalho atendeu inteiramente ao objetivo proposto.

Percebeu-se que dentro de um âmbito industrial, para que se possa desenvolver trabalhos nos moldes do que se propôs neste trabalho, é necessário primeiramente ter a estratégia da empresa claramente alinhada e direcionada à segurança ocupacional e à segurança de processos. Verificou-se que não só é imprescindível que a iniciativa da segurança seja demandada pela alta gerência, como também esta gerência deve fornecer metas claras a serem cumpridas em relação à gestão de riscos dentro dos parques industriais. Percebeu-se ainda que o HAZOP demanda muito tempo dos participantes, e conseqüente exige alocação de custo pela companhia, o que só é possível através do patrocínio genuíno da gerência e uma estratégia organizacional comprometida com a segurança.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 31000. **Gestão de riscos – Diretrizes**. Comissão de Estudo Especial de Gestão de Riscos (CEE-063). Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- AGUIAR, Laís Alencar. **Metodologias de análise de riscos APP & HAZOP**. Apostila, Rio de Janeiro, 2008.
- APPOLINÁRIO, Fabio. **Dicionário de metodologia científica: um guia para a produção do conhecimento científico**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2011.
- CCPS – Center for Chemical Process Safety. **Bow Ties in Risk Management: a Concept Book for Process Safety**. Hoboken: John Wiley & Sons, American Institute of Chemical Engineers (AIChE) and Energy Institute, 2018.

- CCPS – Center for Chemical Process Safety. **Guidelines For Risk Based Process Safety**. Hoboken: John Wiley & Sons and American Institute of Chemical Engineers (AIChE), 2007.
- CHINAQUI, Emerson Francisco. **Análise e Gerenciamento de Riscos de Processo na Indústria Química**. Lorena. Monografia [Graduação em Engenharia Química] – Universidade de São Paulo; 2012.
- CRAWLEY, Frank; TYLER, Brian. **HAZOP: Guide to Best Practice. Guidelines to Best Practice for the Process and Chemical Industries**. 3rd ed. Oxford: Elsevier, 2015.
- MATOS, Juliana Schmitz Guarilha Costa. **Aplicação do HAZOP dinâmico na avaliação de perigo operacional em uma coluna de destilação de uma planta de separação de ar**. Rio de Janeiro. Dissertação [Mestrado em Engenharia Química] – Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2009.
- DINIZ, A; ALMEIDA, A. C; FRANÇA, S. R. **Desenvolvimento de programa de segurança de processo: um caso de sucesso entre a Braskem e a DNV**. In: II CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE SEGURANÇA DE PROCESSOS, 2010, São Paulo. Anais... São Paulo: ABEQ, 2010.
- DINIZ, Flávio; OLIVEIRA, Luiz Fernando; BARDY, Mariana; VISCO, Nilda. **Módulo 3 Técnicas de Identificação de Perigos: HAZOP e APP**. Apostila de Análise de Riscos. Rio de Janeiro: DNV, 2007.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 6. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2017.
- IEC 61882:2016. **Hazard and operability studies (HAZOP studies) - Application guide**. 2nd ed. Geneva: IEC, 2016.
- International Fertilizer Association (IFA). **Fertilizer Outlook 2018 – 2022**. In: 86th IFA Annual Conference. Berlin, 2018. Disponível em: <<https://api.ifastat.org/reports/download/12250>>. Acesso em: 2 de Ago. 2019.
- JONES, D. **Nomenclature for Hazard and Risk Assessment in the Process Industries**. 2 ed. Rugby: The Institution of Chemical Engineers, England (IChemE), 1992.
- NEVES, Flávio César; ARAÚJO, José Antônio M. de; GÁRIOS, Marcelo. **Material didático da disciplina gerência de riscos**. Belo Horizonte, 1996.
- OHSAS 18001. **Occupational health and safety management systems – specification**. British Standards Institution, London, 1999.
- SIDDIQUI, Nihal Anwar; NADAN, Abhishek; SHARMA, Madhuben. **Risk Management Techniques HAZOP & HAZID Study**. Int J OHSFE-Allied Sci. 2014 Jul; 1(1):5-8.
- SILVA, C. E. **Gestão integrada para identificação e análise dos riscos**. In: XXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Salvador, BA, 2009.
- SOUNIS, Emílio. **Manual de higiene e medicina do trabalho**. São Paulo: Ícone, 1991.
- TEJADA, Lucas Almeida. **Segurança de Processos: Gestão de Riscos aplicada em uma indústria química de fertilizantes**. Pelotas. Monografia [Graduação em Engenharia de Produção] – Universidade Federal de Pelotas; 2017.