

ANÁLISE DE RISCOS NAS OPERAÇÕES COM GRANÉIS DE ORIGEM VEGETAL EM UM TERMINAL PORTUÁRIO

João Luiz Francisco (Universidade de São Paulo) jlfrancisco@usp.br

Alaide Bayma (Universidade de São Paulo) alaide.bayma@embraer.com.br

Carlos Pimentel Bandeira (Universidade de São Paulo) pimentelcarlos74@gmail.com

Marcelo Ramos Martins (Universidade de São Paulo) mrmartin@usp.br

Rui Carlos Botter (Universidade de São Paulo) rcbotter@usp.br

Resumo: Este trabalho tem como objetivo desenvolver a Análise de Riscos, levaram-se em consideração os aspectos de proteção à propriedade, de um terminal portuário envolvendo as operações de descarga e armazenagem de milho. Fizeram parte de tal análise as três primeiras etapas proposta pela Formal Safety Assessment (FSA), conforme orientação da International Maritime Organization: identificação dos perigos, análise de riscos e opções para controle de riscos. Percebeu-se que o acúmulo de pó juntamente com uma falha de componente que possa gerar atrito e, com isso, uma fonte de ignição, pode levar ao evento não desejado. Dentre os componentes com maior probabilidade de gerar uma fonte de ignição estão os mancais, os conjuntos motrizes e os roletes. Em relação aos erros humanos que contribuem para a geração da fonte de ignição, destaca-se o erro do operador de não chamar a manutenção durante o desenvolvimento da Operação B - Armazenamento do produto. Já para o acúmulo de pó, pode haver um erro humano na limpeza ou pó suspenso, que pode se formar a partir de uma falha no captador de pó ou no seu acionamento.

1. Introdução

O comércio agrícola do Brasil desempenha um papel importante nos mercados internacionais e fará do país o principal exportador de alimentos na próxima década. O Brasil é o segundo maior exportador agrícola mundial e o maior fornecedor de açúcar, suco de laranja e café. Em 2013, ultrapassou os Estados Unidos como o maior fornecedor de soja e é um importante exportador de tabaco e aves, sendo também um grande produtor de milho, arroz e carne bovina. (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura – FAO - e Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico - OCDE, 2015).

No ano de 2013, apenas o Porto de Santos apresentou uma movimentação de carga de 99,8 milhões de toneladas, sendo o açúcar responsável por 20,9% desse montante, a soja por 13,0% e o milho 12,1%. Apesar dos esforços que estão sendo empreendidos na criação de uma opção para o escoamento das safras agrícolas brasileiras através da região Norte do país, o Porto de Santos ainda concentra aproximadamente 30% dos embarques de grãos e mais de 85% dos embarques de açúcar a granel. Desta forma, a infraestrutura instalada possui

importância vital para a balança comercial brasileira, bem como para o equilíbrio dos mercados internacionais de commodities (Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ, 2014). Contudo, no período de outubro de 2013 a outubro de 2014, ocorreram três sinistros de grande porte em terminais do Porto de Santos, impactando na redução de 45% da capacidade de armazenagem disponível.

Tendo em vista a importância das exportações agrícolas do Brasil para o comércio mundial e os recentes sinistros que ocorreram nos terminais do Porto de Santos, a proposta deste trabalho é apresentar uma Análise de Riscos, levando-se em consideração os aspectos de proteção à propriedade, em um terminal portuário envolvendo as operações de descarga e armazenagem de milho. Fizeram parte de tal análise as três primeiras etapas proposta pela Formal Safety Assessment (FSA), conforme orientação da International Maritime Organization - IMO (2002): identificação dos perigos, análise de riscos e opções para controle de riscos.

2. Análise de riscos

A revisão bibliográfica deste artigo está dividida em três partes principais. Na primeira, encontra-se o embasamento a cerca das análises realizadas sobre os componentes envolvidos no processo de descarga e armazenagem do milho, seguida de um estudo sobre os riscos associados ao comportamento humano, uma vez que os aspectos de confiabilidade e manutenibilidade dos equipamentos podem ser afetados devido aos possíveis erros por eles cometidos e, por fim, o potencial de inflamabilidade do pó oriundo de produtos a granel, como o milho e o açúcar.

2.1. Estudo dos componentes

A FSA é uma metodologia sistemática e estruturada que tem por objetivo garantir a segurança no ambiente marítimo, incluindo a proteção a vida, ao meio ambiente e a propriedade, por meio de uma análise de riscos, custos e benefícios. Vale destacar que a organização define como risco a combinação da frequência e a severidade da consequência (IMO, 2002).

Conforme orientação da IMO (2002), a metodologia empregada pela FSA compreende as etapas:

- a) Identificação dos perigos;
- b) Análise dos riscos;

- c) Opções para controle do risco;
- d) Avaliação de custo/benefício;
- e) Recomendações para a tomada de decisão.

O propósito da primeira etapa é identificar os perigos e cenários associados priorizando o nível do risco, tal finalidade é alcançada por meio de técnicas de rastreamento, usando a avaliação de dados e julgamentos. Esse processo é realizado através da formação de um grupo de profissionais que identificará as causas e efeitos dos acidentes e os perigos relevantes, sendo que tal grupo deve ser formado por especialistas de várias áreas. A fim de se desenvolver essa atividade, deve-se desenvolver uma matriz de riscos, sendo que a organização salienta que as frequências e consequências das categorias usadas tem que ser claramente definidas (IMO, 2002).

De acordo com IMO (2002), o propósito da segunda etapa, Análise dos Riscos, é detalhar as causas e consequências dos cenários mais importantes identificados no processo anterior, permitindo que as atenções sejam voltadas para as áreas de alto risco, além de identificar e avaliar os fatores que influenciam o nível dos riscos. A organização sugere a construção e quantificação de Árvores de Falhas.

Vale salientar que o método da Árvore de Falhas é uma abordagem baseada no fracasso dedutivo, por isso, ela começa com um evento indesejável e, em seguida, por meio de um processo indutivo sistemático, busca os eventos que levam até ele. Para determinar as causas, uma Árvore de Falhas é construída como uma ilustração lógica dos eventos e as suas relações que são necessárias e suficientes para resultar no evento indesejado ou o evento topo. (Nasa Office of Safety and Mission Assurance, 2002).

A busca por meios de se controlar os riscos, terceira etapa do método FSA, conforme orientações da IMO (2002), deve compreender quatro estágios principais:

- Foco nas áreas de risco que precisam de controle;
- Identificação das potenciais medidas de controle de riscos;
- Avaliação da efetividade das medidas de controle de riscos;
- Agrupamento das medidas de controle de riscos em opções práticas.

O objetivo da quarta etapa é identificar e comparar os benefícios e custos associados com a implantação de cada medida de controle definida no processo anterior. Por fim, a quinta etapa

visa definir recomendações que devem ser apresentadas aos tomadores de decisão de forma auditável e rastreável. (IMO, 2002).

2.2. Estudo do comportamento humano

Segundo Swain e Guttman (1983), em muitos sistemas complexos, as atividades humanas são requeridas para manutenção, calibração, testes e operações normais e também em eventos que possam colocar o sistema em risco. Em geral, cada humano, individualmente ou em grupo, interage com informações de partes de um sistema, tais como monitores, telas, instruções escritas ou faladas e são sujeitos às condições ambientais.

Além das análises referentes aos componentes, torna-se importante estudar os riscos associados ao comportamento humano, pois os aspectos de confiabilidade e manutenibilidade dos equipamentos podem ser afetados devido aos possíveis erros cometidos durante o processo de manutenção e operação. A operação (ligar, desligar, analisar, decidir e comunicar) e a manutenibilidade (detectar, localizar, isolar, reparar e testar) dependem das ações do humano envolvido. Neste contexto, toda engenharia voltada para o aspecto fator humano deve participar ativamente do desenvolvimento do projeto, da fabricação, da operação e da manutenção dos equipamentos. (SWAIN; GUTTMANN, 1983).

Segundo Swain e Guttman (1983), a interação humana com os outros componentes do sistema, conhecida como homem-máquina, deve ser tratada de forma analítica, da mesma forma como são tratados os outros componentes do sistema. A análise desta interação pode ser iniciada observando o desempenho humano bem como as suas respostas para o funcionamento do sistema. Rigby (1970) define o erro humano como um conjunto de ações humanas que excede os limites de aceitabilidade, sendo um erro uma ação fora da tolerância, onde os limites da performance são definidos pelo sistema.

2.3. Comportamento do pó oriundo de granéis

Conforme expõem Zhang e Zhang (2014) a poeira originária do milho e do açúcar é uma das fontes que podem resultar em uma explosão quando combinada a algum oxidante, como o oxigênio, e essa mistura é inflamada por uma fonte de energia. Segundo os autores, a explosão causada pela poeira do milho é responsável por inúmeras perdas na indústria de processamento da colheita, contudo, mesmo representando um grande risco, hoje, o processo envolvido neste acidente está longe de ser compreendido.

A poeira proveniente do milho pode ser considerada um combustível e essa característica de inflamabilidade também é encontrada em outros subprodutos, como na mineração de carvão e na poeira proveniente da madeira ou em produtos intermediários como o açúcar. As explosões de pó estão intimamente relacionadas com atividades industriais e o número de explosões em todo o mundo está diminuindo, no entanto, em alguns países, como a China, este tipo de acidente tem aumentado por causa do rápido desenvolvimento industrial do país e da grave defasagem de investimento na melhoria da segurança. (YUAN et al., 2015).

3. Metodologia utilizada

Segundo Yin (1983), três condições devem ser obedecidas para a escolha do estudo de caso como método de pesquisa: as questões que se buscam responder devem ser do tipo “como” ou “por que”, o pesquisador não precisa exercer controle sobre os eventos a serem investigados e o foco da pesquisa deve ser um fenômeno contemporâneo inserido em um contexto da vida real. Tendo em vista que tais características são encontradas no escopo deste trabalho, o método de pesquisa empregado para o seu desenvolvimento foi o estudo de caso.

O trabalho aqui apresentado foi desenvolvido junto a um terminal de grãos localizado no Porto de Santos, sendo que várias visitas foram realizadas. Durante tal processo, a equipe buscou conhecer melhor o funcionamento do armazém e também empregou junto aos funcionários as técnicas recomendadas no FSA.

3.1. Técnica empregada

Com a intenção de se realizar a análise preliminar de riscos nas operações com grãos de origem vegetal em um dos terminais portuários de Santos, utilizou-se o guia FSA, sendo as etapas referentes à avaliação de custo/benefício e recomendações para tomada de decisão não concretizadas neste estudo preliminar. Portanto, desenvolveram-se os seguintes procedimentos:

- a) Identificação de perigos;
- b) Análise de riscos;
- c) Opções para controle do risco.

De acordo com a IMO (2002), o *What if* é uma técnica para a identificação de perigos, sendo empregada neste trabalho na primeira etapa da FSA, que deve ser elaborada por um grupo

formado de sete a dez pessoas. Na análise aqui realizada participaram do *What if* os seguintes profissionais:

- Gerente de operações;
- Coordenador de operações;
- Coordenador de manutenção;
- Engenheiro de manutenção;
- Supervisor de apoio;
- Engenheiro de segurança;
- Supervisor de operações;
- Encarregado de apoio operacional.

Ainda no desenvolvimento da análise preliminar de riscos, realizou-se a FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). Como resultado desse processo, foi possível elaborar a matriz de criticidade, em que o grau de severidade e a probabilidade de ocorrência foram avaliados.

Para considerar o impacto do erro humano, utilizou-se o método descrito no guia *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Application* (SWAIN, GUTTMANN; 1983). Tal método consiste em identificar os potenciais erros humanos, através de uma análise qualitativa. Sendo o humano considerado parte do processo, realizou-se uma análise da interação homem-máquina com o objetivo de conhecer cada tarefa.

A análise dos cenários que podem resultar no evento não desejado, tanto daqueles causados por falhas de componentes como das operações humanas, foi realizada de forma conjugada. Nesta etapa do trabalho, elegeram-se, a partir da matriz de criticidade elaborada na etapa anterior, os modos de falhas mais críticos, ou seja, aqueles que apresentavam maior probabilidade de ocorrência e de severidade. De posse dos cenários indesejados, desenvolveu-se uma árvore de falhas a fim de se visualizar todo o processo de forma esquematizada.

Para o desenvolvimento da terceira etapa, uma análise dos resultados para o controle dos riscos e ações de contingências e mitigatórias foi realizada. Vale destacar que durante esse processo e naqueles já relatados, levaram-se em consideração apenas os aspectos de proteção à propriedade.

3.2. Terminal portuário participante

O estudo de caso foi realizado em um terminal de granéis pertencentes a uma das principais empresas comercializadoras de açúcar e etanol e uma das maiores exportadoras brasileiras

desses produtos, atuando nos principais mercados mundiais. Com mais de duas décadas no mercado, a organização detém um modelo de negócio que abrange a gestão de todos os elos da cadeia de açúcar e etanol, tendo início com o acompanhamento da safra no campo e se estendendo até os mercados finais. Operando açúcar, soja e milho, sendo neste trabalho analisada a etapa referente ao armazenamento desse último produto, a empresa apresenta atuação de destaque no Brasil e nos Estados Unidos.

Considerado um dos mais eficientes e modernos da sua categoria, o terminal aqui analisado está localizado no Porto de Santos e possui capacidade para 8,5 milhões de toneladas por ano, aproximadamente 400 funcionários e conta com três armazéns. Em outubro de 2013 o terminal portuário sofreu um sinistro de grandes proporções, obrigando o terminal a operar de forma parcial. Os volumes de embarque foram retomados gradualmente até o retorno das condições definitivas, com o restabelecimento de sua capacidade original e incrementos de segurança, no ano de 2015.

4. Resultados obtidos

Como resultado deste trabalho, foi possível realizar a identificação dos perigos associados às operações de descarga e armazenagem de milho por meio de sessões de *brainstorms* e do processo *What If*, que colaboraram para o desenvolvimento da matriz de criticidade do componente e da matriz de criticidade humana. Seguindo as etapas sugeridas pela FSA, realizou-se a análise de riscos, processo que contou com o desenvolvimento de uma Árvore de Falhas, e, por fim, as opções para controles dos riscos foram sugeridas.

4.1. Identificação dos perigos

O processo de identificação dos perigos relacionados ao armazém teve início com sessões de *brainstorms* que conduziram a produção de um *What If*. Constatou-se, então, que os riscos que poderiam levar a um possível evento indesejado são:

- Desalinhamento da correia transportadora de graneis, gerando atrito contra a estrutura metálica e calor, sendo uma possível fonte de ignição;
- Desalinhamento do elevador de canecas, com conseqüente atrito contra a estrutura metálica, geração calor e possível fonte de ignição;
- Erro humano durante a execução de limpeza operacional, criando condições para potencializar o evento de incêndio.

Após o *What if* e com maior conhecimento dos eventos de perigo associados as atividades realizadas no armazém, desenvolveu-se uma FMEA, cujo resultado obtidos estão expostos no Quadro 1, com aqueles componentes que poderia levar ao incêndio, sendo eles:

- Caixa de mancal;
- Rolamento do mancal;
- Correia de borracha;
- Sistema de esticamento da correia transportadora;
- Eixo motriz;
- Conjunto motoredutor;
- Rolete de sustentação e transporte.

Quadro 1 - Resultados obtidos a partir do FMEA

COMPONENTE	FUNÇÃO	MODO	EFEITO
Caixa de Mancal	Alojamento do rolamento	Desgaste da pista interna	Vazamento de lubrificante
			Aquecimento
			Ruído devido ao atrito
			Trinca / quebra do mancal
			Aquecimento, danos no rolamento e bucha
Rolamento Mancal e Eixo	Sustentar e possibilitar giro do eixo	Desgaste / Quebra	Atrito e aquecimento
			Danos ao eixo, mancal e bucha
		Fadiga normal (vida útil)	Atrito e aquecimento
			Travamento
			Danos ao eixo, mancal e bucha
Correia de Borracha	Transportar o produto	Acúmulo de produto na correia	Desalinhamento
Sistema de Esticamento da correia Transportadora	Manter a correia de borracha esticada e alinhada	Correia patinar sobre o leito de roletes	Motor sobreaquecer, desalinhamento da correia e deterioração da correia
Eixo Motriz	Item crítico do sistema de correia transportadora	Deterioração do revestimento de borracha do eixo	Desalinhamento
Conjunto Motoredutor	Acionamento do sistema de correia transportadora	Sobreaquecimento do conjunto Motoredutor	Queima do equipamento e não funcionamento do sistema transportador
Rolete de sustentação e transporte	Item crítico do sistema de correia transportadora	Desgaste / Quebra	Atrito, travamento e aquecimento

Fonte: Elaborado pelos autores

Realizada tais análises, foi possível desenvolver a matriz de riscos dos potenciais modos de falhas dos componentes, exposta na Tabela 1, onde é apresentado os níveis de risco associado à ocorrência de um incêndio. Os modos de falhas que ficaram na região vermelha e por isso merecem maior atenção são: desgaste da pista interna da caixa do mancal, desgaste/quebra do rolamento do mancal e do eixo, fadiga do rolamento do mancal e do eixo e acúmulo de pó na correia. Já aqueles localizados na área amarela são: correia patinar sobre leito dos roletes,

deterioração do revestimento de borracha do eixo, sobreaquecimento do conjunto motoredutor e desgaste/quebra do rolete de sustentação e transporte.

Para o desenvolvimento da matriz de criticidade, considerou-se o grau de severidade de acordo com o acúmulo de pó percebido no local e a possibilidade da geração de uma fonte de ignição a partir da falha do componente. Considerando-se como “Imperceptível” uma falha em um componente localizado em uma região sem acúmulo de pó e “Extremamente grave” um componente situado em um local com grande acúmulo de pó.

Tabela 1 - Matriz de criticidade dos potenciais modos de falhas dos componentes

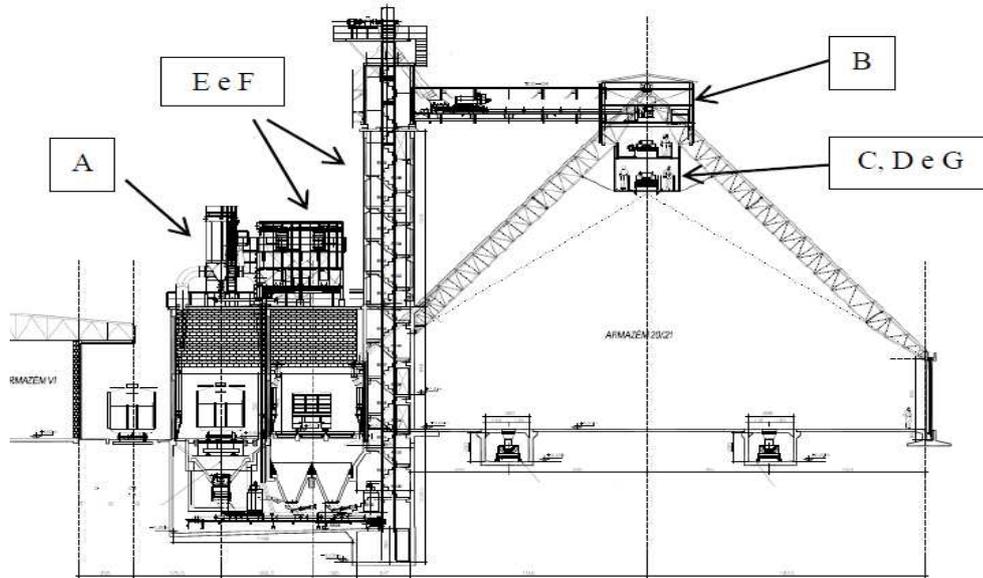
		CATEGORIAS DE SEVERIDADE				
		Imperceptível	Pouco importante	Moderada	Grave	Extremamente grave
CATEGORIAS DE FREQUENCIA	Muito remota (menos de 6 ocorrências por ano)	0	0	0	0	0
	Pequena (menos de 25 ocorrências por ano)	0	0	0	2	0
	Moderada (menos de 60 ocorrências por ano)	0	0	0	2	3
	Alta (mais de 60 ocorrências por ano)	0	0	0	0	0
	Muito alta (mais de 150 ocorrências por ano)	0	0	0	1	0

Fonte: Elaborado pelos autores

Já as atividades humanas desenvolvidas no armazém foram divididas da seguinte maneira, sendo o local de execução apresentado na Figura 1:

- Operação A: Descarregamento do produto – Operador A;
- Operação B: Armazenamento do produto – Operador B;
- Operação C: Monitoramento da descarga do caminhão/armazém – Operador C;
- Operação D: Monitoramento da descarga do armazém/navio – Operador D;
- Operação E: Limpeza do elevador – Operador E;
- Operação F: Limpeza das 6 transportadoras de correia – Operador F;
- Operação G: Acionamento do sistema de captação de pó – Operador G;

Figura 1 - Operações humanas



Fonte: Material cedido pelo armazém participante

Constou-se que as tarefas das operações que deveriam ser foco de maiores análises, pois podem gerar um impacto grave ou extremamente grave, são:

- B - armazenamento do produto;
- E - limpeza do elevador;
- F - limpeza das seis transportadoras de correia;
- G - acionamento do sistema de captação de pó.

As atividades humanas foram analisadas, sendo observados os sinais que os equipamentos emitem ao serem acionados, os possíveis erros que os operadores podem cometer, a frequência com que tais erros são cometidos e sua severidade. Os resultados encontrados estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Análise Qualitativa das Tarefas (Continua)

Atividades	Sinais do equipamento	Possíveis erros	Frequência dos erros	Severidades dos erros
Operação B				
Ao iniciar a movimentação da esteira um operador da manutenção deverá acompanhar o movimento	Nenhuma indicação	Não acionar a manutenção	Moderado	Extremamente grave
Girar a chave com o indicador na posição remoto	Nenhuma indicação	Não posicionar a chave corretamente, confundir posição remoto com local	Muito remoto	Pouco importante
Contatar o operador b1 da sala de monitoramento qual esteira que recebeu o carregamento do ponto de descarga dos caminhões	O operador b1 confirma através do radio o número da esteira que será liberada	Operador b1 liberar a esteira errada	Muito remoto	Pouco importante
Girar a chave preta na posição local	Nenhuma indicação	Confundir a posição local pela remoto	Muito remoto	Pouco importante
Acionar o botão vermelho ou verde no painel conforme demanda	Nenhuma indicação	Confundir o sentido do movimento praia ou cidade	Muito remoto	Pouco importante
Observar na parede do armazem a altura aceitável do produto	Nenhuma dica	Determinar a altura inadequada do produto na parede	Muito remoto	Pouco importante
Operação E				
Com um pano limpar o pé do elevador até que ele fique totalmente sem pó	Nenhum	Deixar resíduo de pó	Moderada	Pouco importante
Com um pano limpar o rolo de retorno até que ele fique totalmente sem pó	Nenhum	Deixar resíduo de pó	Moderada	Grave
Com um pano limpar as canecas do elevador até que ele fique totalmente sem pó	Nenhum	Deixar resíduo de pó	Moderada	Pouco importante
Com um pano limpar os acionamento motrizes (motor e redutor) até que eles fiquem totalmente sem pó	Nenhum	Deixar resíduo de pó	Moderada	Grave
Com um pano limpar os mancais de eixo até que eles fiquem totalmente sem pó	Nenhum	Deixar resíduo de pó	Moderada	Grave
Operação F				
Com um pano limpar os acionamento motrizes (motor e redutor) até que eles fiquem totalmente sem pó	Nenhum	Deixar resíduo de pó	Moderada	Grave
Com um pano limpar os mancais de eixo até que eles fiquem totalmente sem pó	Nenhum	Deixar resíduo de pó	Moderada	Grave
Com um pano limpar o rolo de retorno até que ele fique totalmente sem pó	Nenhum	Deixar resíduo de pó	Moderada	Grave
Com um pano os elementos estruturais até que ele fique totalmente sem pó	Nenhum	Deixar resíduo de pó	Moderada	Pouco importante
Com um pano limpar o roletes até que ele fique totalmente sem pó	Nenhum	Deixar resíduo de pó	Moderada	Grave

Quadro 3 - Análise Qualitativa das Tarefas (Continuação)

Operação G				
Receber o input do operador que pode acionar a transportadora de correia	Nenhum	Confundir a mensagem e não entender a liberação.	Muito remota	Pouco importante
Acionar na tela do monitor do computador o ícone da transportadora de correia	Nenhum	Confundir os ícones da tela do monitor do computador e não acionar a transportadora de correia	Muito remota	Pouco importante
Acionar na tela do monitor do computador o ícone do captador de pó	Nenhum	Confundir os ícones da tela do monitor do computador e não ligar o captador de pó	Muito remota	Extremamente grave
Desligar a transportadora de correia no monitor do computador	Nenhum	Confundir os ícones da tela do monitor do computador e não desligar a transportadora de correia	Muito remota	Extremamente grave
Monitorar após 30 minutos para desligar o captador de pó	Nenhum	Não esperar os 30 minutos	Muito remota	Pouco importante
Desligar o captador de pó no monitor do computador	Nenhum	Confundir os ícones da tela do monitor do computador e não desligar o captador de pó	Muito remota	Pouco importante

Após a análise da Tabela 3, desenvolveu-se a matriz de criticidade dos modos de falhas relacionados com as atividades humanas, exposta na Tabela 3, sendo possível encontrar todos os potenciais de erros que podem contribuir para o evento não desejado. Vale salientar que os modos de falha associados a operação F foram multiplicadas por 6, pois a atividade é realizada por 6 operadores.

Tabela 3 - Matriz de criticidade associados aos erros humanos

		CATEGORIAS DE SEVERIDADE				
		Imperceptível	Pouco importante	Moderada	Grave	Extremamente grave
CATEGORIAS DE FREQUENCIA	Muito remota (menos de um erro por ano)	0	23	0	0	2
	Pequena (1 erro por ano)	0	0	0	0	0
	Moderada (2 erros por ano)	0		42	27	1
	Alta (mais de 60 ocorrências por ano)	0	0	0	0	0
	Muito alta (mais de 3 erros por ano)	0	0	0	0	0

Fonte: Elaborado pelos autores

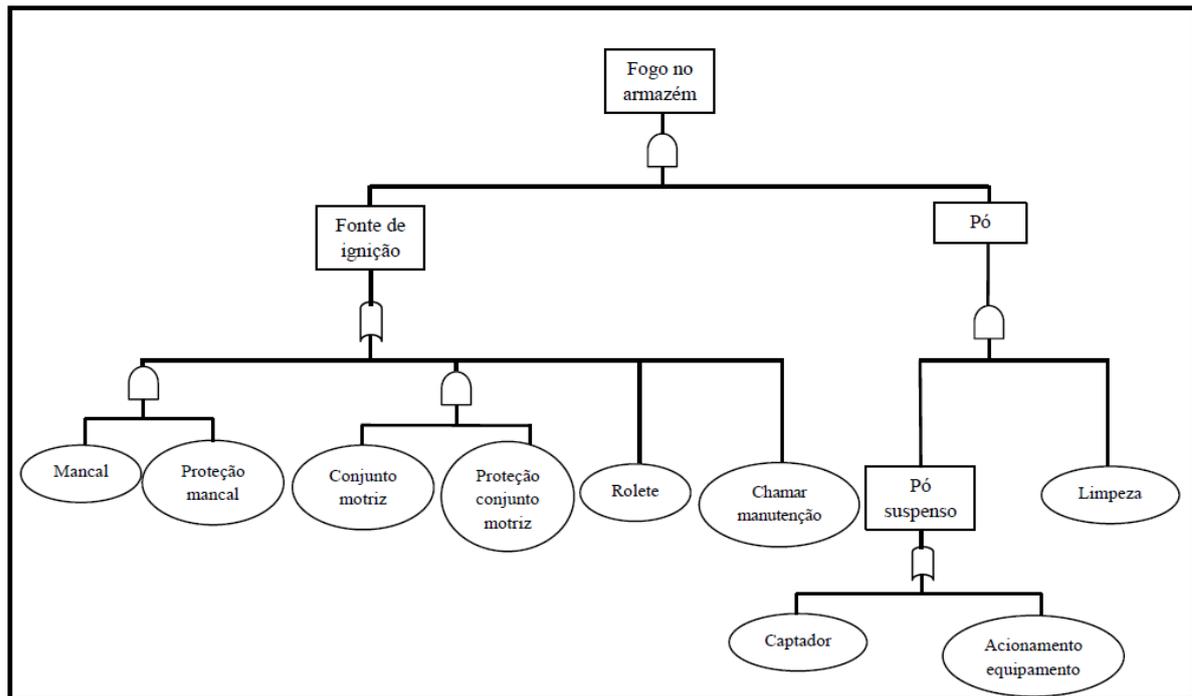
4.2. Análise de riscos

Analisando-se de forma mais detalhada as tarefas humanas que podem levar ao evento indesejado constatou-se que:

- **Operação B - Armazenamento do produto:** Esta operação pode contribuir para o evento não desejado, pois durante o processo esteiras são movimentadas e um *troller* com cabeamento elétrico acompanha o conjunto simultaneamente. Caso haja alguma falha nessa etapa, pode ocorrer uma ruptura do cabo elétrico e gerar um arco voltaico, com o potencial perigo de gerar uma fonte de ignição, levando ao evento não desejado, incêndio no armazém. Como norma de segurança do terminal portuário, um operador de manutenção sempre deve acompanhar o procedimento.
- **Operações E e F – Limpeza:** As operações de limpeza são efetuadas apenas nos pontos críticos dos equipamentos, ou seja, onde pode surgir uma falha cujo efeito leve a geração de uma centelha. A não realização adequada dessa tarefa pode levar ao acúmulo de pó, que juntamente com uma faísca, tem o potencial de iniciar um incêndio no armazém;
- **Operação G – Acionamento do sistema de captação de pó:** O erro humano no acionamento do sistema de captação de pó contribui para o aumento de pó disperso no ambiente e dependendo da concentração desta dispersão, combinada com a falha de qualquer equipamento que leve ao surgimento de uma centelha, pode culminar no evento não desejado.

Os eventos que podem provocar um incêndio no armazém estão representados na Árvore de Falhas da Figura 2.

Figura 2 - Árvore de falhas



Fonte: Elaborado pelos autores

4.3. Opções para controles de risco

Observou-se que nos componentes, tais como conjunto moto-redutor, conjunto eixo mancal e correias dos transportadores, eventuais falhas podem resultar em uma fonte de ignição. Portanto, recomenda-se a avaliação da instalação de sistema de detecção de chama e extinção de incêndio. Na análise dos componentes, verificou-se que a instalação de redundâncias de sensores de temperatura contribuiria para a confiabilidade da detecção prematura de possíveis falhas, evitando o sobreaquecimento e com isso o surgimento de uma fonte de ignição. Deve-se também avaliar a possibilidade de automação da tarefa de acionamento de captação de pó, condicionando o acionamento do sistema de captação ao acionamento do sistema de transportadores de correia, diminuindo, assim, a probabilidade de erro humano.

Deve-se também instalar anteparas para evitar o depósito de pó nos componentes com maior potencial para se tornar uma fonte de ignição. Vale destacar que, independente da instalação destas anteparas, as tarefas de limpeza realizadas pelos operadores devem continuar existindo para mitigar o acúmulo de potencial material inflamável.

Ainda como opção para maior controle do sistema, recomenda-se a instalação de leitores termográficos nos equipamentos, para que sua temperatura seja controlada. O nível de pó suspenso também pode ser monitorado por meio de leitores de material particulado a laser.

Além dessas ações, tendo como base as pesquisas e a literatura disponível, recomenda-se que, além de garantir a maior confiabilidade possível dos componentes críticos envolvidos e suas respectivas proteções, é imprescindível o maior controle das emissões de material particulado durante as operações. Este maior controle passa por três dimensões distintas:

- a) Definição de uma especificação de produto com menor incidência de emissão de material particulado;
- b) Maior eficiência na captação de pó pelos sistemas de aspiração;
- c) Menor dependência da ação humana para evitar o depósito de material potencialmente combustível nos transportadores e pontos críticos.

5. Conclusão

As falhas dos componentes que possam gerar atrito e, com isso, uma fonte de ignição, somado a acúmulo de pó, proveniente de uma falha no captador ou de uma falha no acionamento desse equipamento, somado a um erro na limpeza, pode levar ao evento não desejado.

Dentre os componentes com maior probabilidade de gerar uma fonte de ignição estão os mancais, os conjuntos motrizes e os roletes. Em relação aos erros humanos que contribuem para a geração da fonte de ignição, destaca-se o erro do operador de não acionar o apoio da manutenção durante o desenvolvimento da Operação B - Armazenamento do produto. Já para o acúmulo de pó, pode haver um erro humano na manutenção dos padrões estabelecidos para limpeza ou pó em suspensão, que pode se formar a partir de uma falha funcionamento do sistema captador de pó ou no seu acionamento.

Nos componentes como conjunto moto-redutor, conjunto eixo mancal e correias dos transportadores, recomenda-se a avaliação da instalação de sistema de detecção de chama e extinção de incêndio, contribuindo, assim, para a pronta resposta ao surgimento de algum princípio de incêndio. Além de garantir a maior confiabilidade possível dos componentes críticos envolvidos e suas respectivas proteções, é necessário o controle das emissões de material particulado durante as operações.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS - ANTAQ. **Boletim anual de movimentação de cargas 2013**: Análise da movimentação de cargas nos portos organizados e terminais de uso privado. Brasília: Antaq, 2014.
- INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION - IMO. **Guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process**. Londres: 2002. 54 p.
- NASA OFFICE OF SAFETY AND MISSION ASSURANCE. **Fault tree handbook with aerospace applications**. Washington Dc: Nasa, 2002. 218 p.
- NASA. **Probabilistic risk assessment procedures**: Guide for NASA managers and practitioners Washington Dc: Nasa, 2011.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA – FAO - e ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO - OCDE. **Agricultural Outlook 2015-2024**. 2015. Disponível em: <<http://www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/5115021e.pdf?expires=1452877952&id=id&accname=guest&checksum=8CB A252DFAB80637CB4803FDA2063731>>. Acesso em: 15 jan. 2016.
- RIGBY, L. V. **The Nature of Human Error in Annual Technical Conference Transactions of the ASQC, American Society for Quality Control**, Milwaukee, WI, May 1970.
- SWAIN, A. D.; GUTTMANN, H. E. **Handbook of human reliability analysis on nuclear power plant applications final report**. Washington Dc: U. S. Nuclear Regulatory Commission, 1983.
- YUAN, Zhi et al. Dust explosions: A threat to the process industries. **Elsivier**. p. 57-71. jan. 2015.
- YIN, Robert K. **Estudo de caso: Planejamento e Métodos**. Porto Alegre: Bookman. 2010.
- ZHANG, Qi; ZHANG, Bo. Effect of ignition delay on explosion parameters of corn dust/air in confined chamber. **Elsivier**. p. 23-28. nov. 2014.