

MARCELA MAIRA NASCIMENTO DE SOUZA
NERI ARMINDO RIEGER
SÉRGIO LAMANA

ANÁLISE DE RISCO DE EXPLOSÃO DE PÓ NO ARMAZENAMENTO DE
GRÃOS: O CASO DE ALGUMAS UNIDADES ARMAZENADORAS DO
ESTADO DE MATO GROSSO

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para a obtenção do Título de
Especialista em Engenharia de
Segurança no Trabalho.

SÃO PAULO

2007

MARCELA MAIRA NASCIMENTO DE SOUZA
NERI ARMINDO RIEGER
SÉRGIO LAMANA

ANÁLISE DE RISCO DE EXPLOSÃO DE PÓ NO ARMAZENAMENTO DE
GRÃOS: O CASO DE ALGUMAS UNIDADES ARMAZENADORAS NO
ESTADO DE MATO GROSSO

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para a obtenção do
Título de Especialista em
Engenharia de Segurança no
Trabalho.

Área de concentração:

Eng.ª de Segurança no Trabalho

SÃO PAULO

2007

Dedicamos o presente trabalho aos nossos familiares que nos incentivaram nesta caminhada e souberam compartilhar nossos momentos de ausência para concluir este curso.

AGRADECIMENTOS

A Deus que sempre nos dá força para perseverar em nossos objetivos.

Agradecemos a todos aqueles que gentilmente cederam materiais e parte de seu tempo nos ajudando a concluir este trabalho.

Aos nossos familiares, pela compreensão e apoio em todos os momentos.

Professores, Imad's e Ad's pelo auxílio e incentivo em todas as etapas do curso.

A todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a conclusão desta monografia.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo pesquisar os aspectos relacionados à explosão de pó em unidades de armazenamento de grãos do setor agrícola, suas causas, conseqüências e meios de prevenção. Objetivou-se também construir um referencial teórico através de estudos já realizados sobre o perigo de explosões de pós em suspensão ou acumulados de grãos de cereais e seus derivados em silos ou armazéns, realizar o levantamento e análise de possíveis formas de prevenção de acidentes dessa natureza, e finalmente, analisar, através de uma pesquisa de campo, a realidade das cooperativas visitadas, sugerindo a estas melhorias em seu processo produtivo para que trabalhem com maior segurança. Foram realizadas pesquisas de normas, legislações e catálogos para elaboração dos diversos meios de prevenção de explosão em unidades agroindustriais, assim como visitas técnicas a instalações existentes. A pesquisa de campo foi operacionalizada em duas unidades de armazenamento de grãos no Estado de Mato Grosso, no intuito de se analisar as condições atuais dessas unidades, no que concerne ao acidente com pó oriundo da armazenagem de grãos. Conclui-se a presente pesquisa enfatizando-se que não há ainda em nossa cultura, os conhecimentos necessários acerca do perigo existente, que, entretanto, continua fazendo vítimas e não sendo amplamente divulgado. A ampliação de nossos horizontes agrícolas é uma realidade crescente, portanto, a busca por conhecimento a respeito do assunto deve ser incessante, pois, à medida que o tempo passa, descobrem-se novos fatos, dados e particularidades sobre a explosão de pó, suas causas e conseqüências. Há ainda, muito que se pesquisar sobre o assunto.

Palavras-chave: Análise de riscos; explosão de pó; armazenamento de grãos.

ABSTRACT

The main aim of this present research work is to analyze the aspects related to the dust explosion in storage of grains units in agricultural sector, its causes, its consequences and ways of prevention. It also aimed to make a theoretical reference through some studies about the danger of explosions with accumulated dust or dust in suspension from grains of cereals and its derivatives in silos or warehouses, to carry out the survey and analysis of possible prevention forms of accident of this nature, and finally, to analyze, using a field research, the real situation of some visited cooperatives of grains suggesting some improvements to the productive process in order to provide more security. The methodological procedures used to guide the present study had as basis an exploratory and qualitative research. It was done researches about norms, legislation and catalogues for elaboration of the several ways of explosion prevention in agricultural-industrial units, as well technical visits to the existing installations. The field research was fulfilled in two storage units of grains in the Mato Grosso state with the intention of analyzing the current conditions of them, concerning the accident with deriving dust of the storages of grains. This research is concluded emphasizing that there is not in our culture yet, the necessary knowledge concerning the existing danger, that, however, still making victims and is not widely released. The magnify of our agriculturists horizons is an increasing reality, therefore the search for knowledge about the subject must be incessant, insofar as the time passes, new facts, data and particularities about the dust explosion are discovered, as well as its causes and consequences. There still too much to research about the subject.

Key-words: analysis of risks; dust explosion; storage of grains.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS

LISTA DE SÍMBOLOS

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	1
1.2 Justificativa.....	1
1.3 Materiais e Métodos.....	2
1.4 Organização do Trabalho	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Anatomia de uma Explosão.....	6
2.2 Explosões Primárias e Secundárias	9
2.3 Fatores que Influem a Explosão de Pó	10
2.3.1 Considerações sobre os riscos do pó	12
2.3.2 Dimensões da partícula	14
2.3.3 Concentração	14
2.3.4 Umidade	15
2.3.5 Materiais Inertes	16
2.3.6 Concentração de O ₂ turbulência e efeito de gases inflamáveis.....	16
2.3.7 Fontes de ignição das nuvens de poeira	17
2.3.8 Destrutividade das explosões de poeiras	18
2.3.9 Efeitos da velocidade de aumento de pressão	18
2.3.10 Efeitos da pressão máxima de explosão	18
2.3.11 Efeitos da duração da sobrepressão	19
2.3.12 Efeitos do confinamento.....	19
2.3.13 Efeitos da inertização	20
3. LOCAIS DE RISCO	21
3.1 Silos Metálicos	24
3.2 Armazéns Graneleiros	24
3.3 Transportes de Grãos a Granel	25
3.3.1 Elevadores de caçambas.....	25
3.3.2 Correias transportadoras.....	26
3.3.3 Transportador helicoidal	27
3.3.4 Transportadores de corrente	28
4. NORMATIZAÇÃO	30

5. PROCEDIMENTOS PARA EVITAR A EXPLOSÃO POR PÓ EM SUSPENSÃO	32
5.1 Medidas Preventivas.....	32
5.1.1 Treinamento de pessoal	32
5.1.2 Limpeza	33
5.1.3 Sistemas de captação de pó	33
5.1.4 Sistemas para supervisão de alinhamento e sensores de velocidade e obstrução	38
5.1.5 Termometria.....	39
5.1.6 Manutenção preventiva de acionamento de correias.....	39
5.1.7 Canecas e componentes de plástico	40
5.1.8 Separador de metais	40
5.1.9 Manutenção periódica	40
5.1.10 Cuidados com o uso de aparelhos de solda	41
5.1.11 Ventilação.....	41
5.1.12 Emprego de corpos inertes	46
5.1.13 Sistemas de isolamento de tubulações às explosões	47
5.1.14 Proteção contra explosão em elevadores.....	48
5.1.15 Discos ou janelas de ruptura (sopros)	49
5.1.16 Instalações e equipamentos elétricos.....	50
5.1.17 Estática e faísca em sistemas de coleta de pó.....	51
5.1.18 Óleo mineral	53
5.2 Aspectos Construtivos.....	54
5.2.1 Áreas de ruptura planejada nas edificações.....	55
5.2.2 Projeto de sistemas de coleta de pó e renovação do ar.....	56
5.2.3 Dimensionamento de sistemas de aterramento elétrico	56
5.2.4. Sistemas elétricos	56
5.2.5. Compartimentação das construções	57
5.2.6 Outros sistemas	59
6 ANÁLISE DE CASO DE UNIDADES DE ARMAZENAGEM DE GRÃOS.. 61	
6.1 Visita a Unidade de Recebimento, Limpeza, Secagem, Armazenagem e Expedição de Cereais – Sorriso – MT.....	61
6.1.1 <i>Principais problemas encontrados</i>	61
6.2 Visita a Unidade de Recebimento, Limpeza, Secagem, Armazenagem e Expedição de Cereais – Lucas Do Rio Verde - MT	64
6.3 Outros Problemas Encontrados nas Unidades Visitadas.....	67
6.4 Melhorias Sugeridas.....	68
7 CONCLUSÕES	70
LISTAS DE REFERÊNCIAS	73
ANEXOS	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Triângulo do fogo	8
Figura 2 - Explosões em unidades armazenadoras.....	11
Figura 3 - Concentração de poeira depositada dentro de um túnel	22
Figura 4 - Unidade armazenadora	25
Figura 5 - Elevador de caçambas	26
Figura 6 - Caçambas de polietileno.....	26
Figura 7 - Correia transportadora	27
Figura 8 - Roscas transportadoras	28
Figura 9 - Transportador de corrente – Redler.....	29
Figura 10 - Filtros pulse jet em moegas	34
Figura 11- Esquema da localização dos pontos de aspiração.....	35
Figura 12 - Descarregamento de cereais de caminhões com moega equipada com tombador.....	37
Figura 13 - Aspiração de pó na descarga de moegas ferroviárias.....	38
Figura 14 - Filtros pontuais compactos	46
Figura 15 - Válvulas de isolamento de explosão.....	48
Figura 16 - Discos ou janelas de ruptura.....	50
Figura 17 - Sistema de ventilação em silos	59
Figura 18 - Falta de organização e limpeza no espaço físico	61
Figura 19 - Falta de limpeza nos equipamentos.....	62
Figura 20 - Falta de limpeza no túnel.....	62
Figura 21 - Acúmulo de pó sobre os motores	63
Figura 22 - Falta de proteção das correias de acionamento do motor.....	64
Figura 23 - Unidade de armazenagem – Lucas do Rio Verde – MT	65
Figura 24 - Túnel livre de poeira.....	65
Figura 25 - Saída do exaustor do túnel do silo.....	66
Figura 26 - Exaustor do final do túnel silo pulmão e moega.....	66
Figura 27 - Ventilador/exaustor	67
Figura 28 - Empresa sem limpeza.....	68
Figura 29 - Empresa que faz limpeza.....	68

Figura 30 - Moega sem captação de pó.....69
Figura 31 - Moega com captação de pó.....69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Maiores explosões por tipo de materiais armazenados nos EUA	4
Tabela 2 - Explosões ocorridas no Brasil.....	5
Tabela 3 - Classificação dos riscos relativos à poeira.....	12
Tabela 4 - Potencial de explosão dos produtos agrícolas.....	13
Tabela 5 - Influência do teor de O ₂ sobre os efeitos de uma explosão	20

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACGIH	- American Conference of Governmental Industrial Hygienists
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ar	- Argônio
C	- Concentração
Cm	- Centímetro
CO ²	- Gás carbônico
CREA	- Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura
DIN	- Deutsches Institut für Normung
E	- Energia de ignição Joules
EC	- European Community
EN	- European Standard
EUA	- Estados Unidos da América
FDA	- Federal Department Agriculture
Ge	- Gravidade de explosão
g/m ³	- Gramas por metro cúbico
He	- Hélio
IEC	- International Electrotechnical Commission
Ie	- Índice de explosividade
Kgf/cm ²	- Quilograma Força por Centímetro Quadrado
Kgf/m ³	- Quilograma Força por Metro Cúbico
LSE	- Limite Superior de Explosividade
LIE	- Limite Inferior de Explosividade
MEC	- Concentração mínima de explosão
ms	- Milisegundo
m/s	- Metro por Segundo
mg/m ³	- Miligrama por Metro Cúbico
mJ	- Milijoule
mppe	- Milhões de Partículas por Pé Cúbico
NBR	- Norma Brasileira
NEC	- National Electrical Code

NEMA	- National Electrical Manufacturing Association
NFPA	- National Fire Prevents of Acidents
NR	- Norma Regulamentadora
O ₂	- Oxigênio
Ohm.cm	- Ohm vezes Centímetro
OSHA	- Occupational Safety & Health Administration
Pmp	- Pressão máxima de explosão
PI	- Patente de Invenção
Si	-Sensibilidade de ignição
T1	- Temperatura ignição do leito
T2	- Temperatura ignição nuvem
t/h	- Tonelada / hora
Vmp	- Velocidade máxima de aumento de pressão

LISTA DE SÍMBOLOS

U\$ - Dólar

% - Porcentagem

°C - Grau Centígrado

LISTA DE SÍMBOLOS

- US\$ - Dólar
- % - Porcentagem
- °C - Grau Centígrado

1. INTRODUÇÃO

Estima-se que em função das condições climáticas favoráveis na maioria das regiões produtoras e às melhorias nas técnicas de plantio, a produção nacional de grãos aumentou consideravelmente nos últimos anos. Com isto, os problemas de manuseio de todos estes grãos se intensificam e as indústrias de produtos alimentícios, que recebem, descarregam e armazenam, e que de alguma maneira, no seu processo geram pó, encontram-se expostas aos perigos desse pó oriundo do manuseio de grãos. (Naschold, 2004)

1.1 Objetivos

- Pesquisar os aspectos relacionados à explosão de pó em unidades de armazenamento de grãos do setor agrícola, suas causas, conseqüências e realizar o levantamento e análise de possíveis formas de prevenção de acidentes dessa natureza.
- Construir um referencial teórico de acordo com estudos já realizados sobre o assunto, reunindo informações dispersas em diferentes normas e catálogos sobre o perigo de explosões de pós em suspensão ou acumulados de grãos de cereais e seus derivados em silos ou armazéns.
- Analisar, através de uma pesquisa de campo, a realidade das cooperativas visitadas, sugerindo a estas melhorias em seu processo para que trabalhem com maior segurança.

1.2 Justificativa

A falta de informação sobre ocorrências de sinistros envolvendo explosões da poeira de grãos de origem agrícola nas unidades armazenadoras tem levado o pessoal envolvido neste tipo de atividade a cometer abusos excessivos quanto à segurança das pessoas e instalações, principalmente pela descrença do perigo.

No Brasil as explosões continuam desconhecidas, pois a maioria delas não é investigada com rigor, talvez por falta de conhecimento técnico ou por falta de normatização especial para o assunto.

Assim, justifica-se a presente pesquisa, que busca analisar a incidência e a ocorrência desse tipo de acidente no armazenamento de grãos do setor agrícola brasileiro.

1.3 Materiais e Métodos

Os procedimentos utilizados para nortear o presente estudo. Tiveram como base uma pesquisa exploratória que, de acordo com Severino (1986), é a mais indicada para esse tipo de discussão, devido sua abrangência em pesquisas bibliográfica, documental, estudos de caso, etc.

Foram realizadas pesquisas de normas, legislações, catálogos, pesquisas bibliográficas e na internet, onde foram analisadas as obras de alguns dos principais autores sobre o tema, para elaboração dos diversos meios de prevenção de explosão em unidades agroindustriais, assim como visitas técnicas a instalações existentes.

O levantamento da bibliografia para esta pesquisa desencadeou a localização dos estudos pretendidos. De acordo com Severino (1986), a pesquisa bibliográfica caracteriza-se como o levantamento dos livros e documentos similares existentes sobre o assunto que definem a natureza do tema estudado e a área do trabalho.

A pesquisa de campo foi realizada em duas unidades de armazenamento de grãos no Estado de Mato Grosso, no intuito de se analisar as condições atuais dessas unidades, no que concerne ao acidente com pó oriundo da armazenagem de grãos.

Para este estudo buscou-se um contato com a amostra selecionada, através de visitas realizadas na empresa para a coleta de dados, podendo ser realizada a observação participante no ambiente de trabalho onde se verificaram vários aspectos referentes ao ambiente organizacional da empresa.

Para Gil (1999), esse tipo de observação apresenta uma série de vantagens, pois possibilita a obtenção de respostas para os problemas da pesquisa, favorece a construção das hipóteses e facilita na aquisição de dados sem produzir suspeita na instituição que está sendo pesquisada.

Para a realização da pesquisa “in loco” foi elaborado uma seqüência de itens a serem observados, desde entrevista com encarregados e operadores, passando por inspeção visual, e registro fotográfico.

Para essa pesquisa foi empregada também a longa a experiência profissional dos autores neste ramo de atividade, a qual contribui de forma muito significativa na identificação de máquinas e equipamentos, bem como na busca dos problemas existentes.

A apresentação dos dados coletados, bem como a análise realizada, são apresentados nos próximos capítulos.

1.4 Organização do Trabalho

A presente pesquisa encontra-se dividida em sete capítulos específicos para a abordagem mais clara dos assuntos selecionados.

No primeiro capítulo do trabalho são apresentados todos os dados referentes à construção da pesquisa, os procedimentos metodológicos e seu delineamento, apresentado através da introdução.

A partir do segundo capítulo, inicia-se a abordagem teórica, apresentando estudos realizados e divulgados por pesquisadores do tema. A abordagem teórica prossegue até o quinto capítulo do trabalho.

A apresentação dos dados coletados e sua posterior análise são apresentadas no sexto capítulo.

Finalmente, as conclusões são apresentadas no último capítulo do trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos últimos 20 anos explosões de pós industriais têm contabilizado centenas de mortes e perdas patrimoniais imensuráveis e ainda um dos poucos perigos de incêndio industrial reconhecidos. Eles podem ocorrer dentro de qualquer processo onde um pó combustível é produzido, e pode ser ocasionado por fonte de energia, incluindo energia estática, fricção e material incandescente.

Historicamente, a primeira incidência registrada de uma explosão de pó foi em uma fábrica de farinha italiana em 1785, embora certamente não fosse a primeira a acontecer. Cerca de 50 explosões são noticiadas por ano no mundo, de pequenas deflagrações até detonações destruindo edificações, fábricas a qual lidera um grande número de fatalidades.

Elas são usualmente associadas com o grão e indústrias de mineração, contudo, as explosões podem ocorrer em vários processos usando materiais particulados. Nos Estados Unidos, durante o período de 1900 a 1977, ocorreram 1.305 explosões em silos que trabalhavam com cereais.

Nestes acidentes, 788 pessoas morreram e 2211 ficaram feridas, com prejuízos patrimoniais na ordem de U\$ 500 milhões. A seguir apresenta-se um quadro demonstrativo das maiores explosões por tipo de materiais armazenados nos Estados Unidos. (Heron Lullez, 1994)

Tabela 1 - Maiores explosões por tipo de materiais armazenados nos EUA

Instalações	Ocorrência de Acidentes (Explosões)
Silos para cereais	14
Silos para carvão	9
Silos para farinha	6
Silos para plásticos	5
Silos para madeira	5
Farinha de madeira (serragem)	3
Algodão	2
Silos para amido	2

Fonte: Lullez (1994)

No Brasil não há muita informação sobre ocorrências de sinistros envolvendo explosões com pó nas unidades armazenadoras. Isto tem acarretado uma total desinformação sobre as causas desses acidentes, bem como as conseqüências normalmente desastrosas desses acontecimentos. Esta desinformação tem resultado em abusos excessivos quanto à segurança das instalações armazenadoras, devido à descrença com relação ao perigo de incêndio ou explosão de pó. De certa maneira a maior parte dos acidentes ocorrem nas regiões em que a umidade relativa do ar, atinge valores menores de 50% e onde armazenam-se produtos tais como trigo, milho, malte de cevada e soja.

Na tabela 2, enumeramos as explosões ocorridas no Brasil em diversos silos e fábricas que tiveram registros:

Tabela 2: Explosões ocorridas no Brasil

Local	Período
Ceval (Pranhita – PR)	Janeiro/1985
COTRIROSA	Agosto/1985
Porto (Paranaguá-PR)	Julho/1986
Coopervale (Assis Chateaubriand - PR)	Julho/1991
Porto (Paranaguá-PR)	Novembro/1991 e Janeiro/1992
Ceval (Xanxerê – SC)	Junho/1993

Fonte: Lullez (1994)

Sob aspectos militares, explosivos podem ser definidos como substâncias ou mistura destas suscetíveis a sofrerem bruscas transformações químicas sob influência de calor ou ação mecânica.

Muitas indústrias nas quais são manuseados poeiras e gases combustíveis correm o risco dos efeitos devastadores de uma explosão. Os efeitos de pressão causados por este fenômeno de combustão incrivelmente rápido podem criar enormes danos ao processo e aos equipamentos e obviamente causar a perda de vidas humanas.

As perdas econômicas de tal acontecimento levaram as indústrias a implementarem medidas preventivas para minimizarem o risco de uma ocorrência de explosão e a desenvolverem medidas de precaução para salvaguardarem a perda e danos materiais e humano. (Heron Lullez, 1994)

2.1 Anatomia de uma Explosão

Uma explosão é geralmente definida como uma reação química destrutiva que produz ruído, calor e expansão rápida de gases. Os efeitos de combustão podem ser gerados por numerosos materiais comuns encontrados no ambiente industrial. Para uma explosão ocorrer, há cinco elementos necessários, os quais devem ocorrer simultaneamente: combustível, calor, oxigênio, suspensão, e confinamento.

Para a deflagração da explosão de pó é preciso que ocorram os seguintes elementos e condições:

- **Combustível:** é o pó em suspensão. Poeiras são partículas sólidas geradas mecanicamente por manuseio, moagem, raspagem, esmerilhagem, impacto rápido, detonação, etc., de materiais inorgânicos e orgânicos – aqui se classificam os grãos e farelos. As poeiras não tendem a flocular, a não ser sob ação de forças eletrostáticas. Elas se depositam pela ação da gravidade. São encontradas em dimensões perigosas que vão de 0,5 a 10 microns. São expressas em mppc – milhões de partículas por pé cúbico de ar, g/m^3 ou mg/m^3 de ar.
- **Oxigênio,** facilmente disponível na maior parte das operações industriais.
- **Concentração mínima de pó misturado no ar.** É a quantidade de material em suspensão dentro de uma faixa passível de explodir, definida como Limites de Explosividade Superior e Inferior. Abaixo ou Acima destes limites não ocorre a explosão. Quanto mais fino o pó, maior o poder de deflagração e maior a velocidade da mesma.
- **Uma Fonte de Ignição,** gerada por um uma chama qualquer, uma faísca de solda, combustão espontânea, faíscas por fricção – atrito entre partes metálicas, ou riscos eletrostáticos inerentes do processo de produção ou de elementos do transporte pneumáticos.
- **Um Espaço Confinado:** a maior parte das operações industriais se dá em espaços fechados.

Se for eliminado um dos fatores acima, a explosão por pó não ocorrerá. (FENWAL PROTECTION SYSTEMS, 2003).

Estes formam os cinco vértices do pentágono da explosão. Como no triângulo do fogo, removendo um destes elementos poderemos prevenir uma explosão de se

propagar.

As explosões em unidades armazenadoras geralmente acontecem quando há a reação em cadeia do ar atmosférico e partículas sólidas em suspensão, as quais neste caso são denominadas como os agentes comburentes e combustíveis, respectivamente.

Neste estágio, o calor irradiado pelas chamas atinge o combustível, que se decompõe em partículas menores. Estas partículas se combinam com o oxigênio e queimam, irradiando outra vez calor para o combustível, formando um ciclo contínuo.

Para que esta reação ocorra é necessária a presença simultânea de três elementos, denominados elementos essenciais do fogo, que são: combustível, que é o próprio pó de grãos, produzido pelo atrito dos grãos ao serem movimentados, o oxigênio do ar que está sempre presente no ambiente do trabalho e a fonte de ignição que pode ser fornecida por equipamentos mal alinhados, rolamentos superaquecidos, pedaços de metal no maquinário, curto circuitos elétricos, faíscas de equipamentos de solda, etc.

A combinação acima forma o Triângulo do Fogo. Atualmente é mencionado também um quarto elemento: a reação molecular, formando então o Tetraedro do Fogo. Observa-se que o oxigênio do ar está presente em quase todo o processo produtivo em questão. É preciso saber que uma faísca ou uma chama não é indispensável para que se produza uma explosão.

Um aparelho pode, por elevação de temperatura em sua superfície, atingir a temperatura de inflamação do gás e provocar a explosão. (MACCOMMEVAP, 2004).

A simultaneidade dos elementos essenciais forma o "Triângulo do fogo".



Figura 1 – Triângulo do Fogo
Fonte: Lorini (2002) p.237

Tecnicamente falando, uma explosão é uma onda de combustão – ou de deflagração (que também é uma combustão com chama intensa) – que se propaga livremente inicialmente movendo-se a uma velocidade menor que o som (300 m/s); se não confinada, essa frente de chamas viaja inicialmente com pouca rapidez, mas a velocidade aumenta logo após a ignição, formando uma onda de alta pressão. Como os processos industriais geralmente não são projetados para suportar as pressões desenvolvidas em uma explosão, ocorre ruptura(s) no(s) ponto(s) mais fraco(s), liberando a onda de choque geralmente acompanhada de fogo, tudo com efeitos altamente destrutivos.

A explosão de pó gera três efeitos: ondas de choque (expansão rápida), radiação térmica (incêndio) e fragmentação (mísseis). As pressões geradas são grandes – uma pressão de 0,35 a 0,50 kgf/cm², por exemplo, é capaz de destruir uma casa. Para que seja fatal a um ser humano, seria preciso uma pressão de 1 à 1,78 kgf/cm². Se o pó for leve a ponto de flutuar terá então maior probabilidade de encontrar uma fonte de ignição. Pós com diâmetro inferior a 200 micra, por exemplo, podem atingir 1,2 m/s em velocidade de queda. (APTS, 2002, p. 7).

Processada a detonação em um dado ponto, a energia calorífica dissipada será utilizada na detonação de um outro ponto. Isto estabelecerá uma série de detonações, enquanto houver condições favoráveis que são estabelecidas pela existência dos agentes comburentes e combustíveis e a ocorrência da temperatura do ponto de detonação. Deste modo, tem-se que o processo de detonação é rápido, mas não

pesquisas recomenda 50 gramas por metro cúbico (g/m^3) como MEC (Concentração mínima de explosão) para poeira de grão. Se a concentração de pó nos pontos de transferência de grãos é menor que o MEC uma explosão de pó não ocorrerá se todos os outros componentes não tiverem presentes.

Uma concentração de $50 \text{ g}/\text{m}^3$ é tão alta que uma pessoa em pé não consegue enxergar seus dedos um pé à frente. As estratégias de engenharia para reduzir a probabilidade de explosão de pó incluem controle pneumático da poeira, aditivos líquidos, transportadores enclausurados e outros equipamentos e técnicas que reduzem e/ou eliminam as emissões de pó.

As explosões são fenômenos caracterizados por uma liberação rápida de energia associada a uma expansão rápida de gás. Podem ser físicas, químicas, elétricas e homogêneas. (CONGRESS OF UNITED STATES, 1995)

2.3 Fatores que Influem a Explosão de Pó

A possibilidade da explosão de uma nuvem de pó está condicionada pela dimensão de suas partículas, sua concentração, as impurezas, a concentração de oxigênio e a potência da fonte de ignição.

- **Granulometria** – quanto mais fina for a partícula, maior o perigo, maior será o poder de deflagração e tanto maior será a velocidade da reação. Quando os materiais estão compactos, ou seja, com concentrações muito altas, não geram explosão, mas pegam fogo e se incendiam.
- **Mistura ideal de pó e ar** – quando o pó se apresenta em suspensão no ar sob forma de nuvem dentro de uma faixa ideal de explosividade. Em faixas acima ou abaixo ou acima do limite de explosividade não se dá a explosão.
- **Fonte de energia** - qualquer elemento do sistema que possa causar uma centelha, ou ainda cargas eletrostáticas, ou faiscamento de motores, chaves elétricas ou por atrito em partes metálicas, canecas de elevadores roçando na carcaça, rotor do ventilador na evoluta ou outros.
- **Oxigênio** – em concentração mínima para a combustão total da massa de pó
- **Umidade** – quanto menor for a umidade do ar, mais fácil se torna a deflagração. (Naschold, 2004)

A seguir, um resumo das características físico-químicas dos fatores influentes na ocorrência de explosões por pó em suspensão. (FIREFLY, 2005).

Tamanho de partícula: < 0,1 milímetro;

Concentração da poeira: 40 g/m³ – 4000 g/m³;

Índice de umidade: < 11%;

Oxigênio: > 12%;

Energia de ignição: > 10 mJ – 100 mJ

Temperatura da ignição: 410° - 600 °C.

As explosões de pó se produzem frequentemente em série; muitas vezes a deflagração inicial é muito pequena em quantidade, porém de suficiente intensidade para colocar o pó das cercanias em suspensão, ou romper peças de máquinas ou instalações dentro do edifício, como os coletores de pó, com o que se cria uma nuvem maior através do qual podem se propagar explosões secundárias. Não é raro, produzir-se uma série de explosões que se propaguem de um edifício a outro.

A figura 2 mostra explosões recentes causadas por poeiras de cereais, neste caso os danos provocados foram aos pavilhões, aos equipamentos de beneficiamento e aos elementos transportadores, o que evidencia que a explosão iniciou dentro internamente, ganhando propagação e aumentando seus efeitos até atingir os pavilhões que foram os finais.

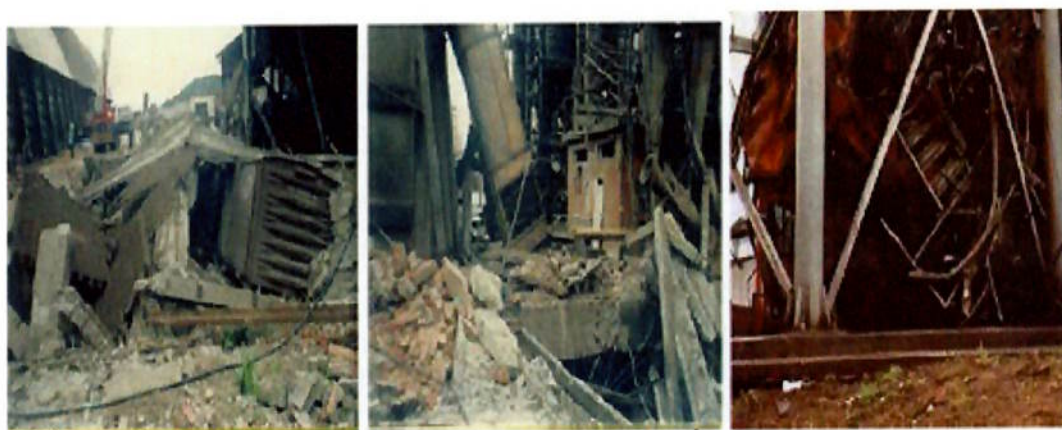


Figura 2 – Explosões em Unidades Armazenadoras
Fonte: disponível em <http://www.tecnomoageira.com.br/artigos>

2.3.1 Considerações sobre os riscos do pó

Explosões recentes causadas por poeiras de cereais, neste caso os danos provocados foram aos pavilhões, aos equipamentos de beneficiamento e aos elementos transportadores, o que evidencia que a explosão iniciou dentro internamente, ganhando propagação e aumentando seus efeitos até atingir os pavilhões que foram os finais.

O perigo de uma classe determinada de poeira está relacionado com sua facilidade de ignição e com a gravidade da explosão resultante. Para tal, foi criado nos EUA um equipamento experimental para testar poeiras explosivas, com sensores diversos para permitir conhecer as características das poeiras explosivas. A sensibilidade de ignição é função da temperatura de ignição e da energia necessária, enquanto que a gravidade de explosão vem determinada pela pressão máxima de explosão e pela máxima velocidade de crescimento da pressão. Para facilitar as comparações dos dados de explosividade derivados dos ensaios mencionados, todos os resultados se relacionam com uma poeira de carvão conhecida como de “Pittsburg” tomando uma amostra uma concentração de 0,5 kg/ m³, kg de pó de carvão por m³ de ar, exceto dos pós metálicos.

A Sensibilidade de ignição (Si.) e a gravidade de explosão (Ge.) são determinadas através da comparação entre a concentração mínima do pó de Pittsburg e a concentração mínima do pó a ser testada. O índice de explosividade é dado pelo produto da sensibilidade de ignição e a gravidade de explosão (Si. x Ge.), através do qual nos é permitido classificar os riscos relativos da poeira como segue:

Tabela 3: Classificação dos riscos relativos à poeira.

Tipo de Explosão	Si	Ge	Ie
(P) Pequena	< 0,2	< 0,5	< 0,1
(M) Moderada	0,2 – 1,0	0,5 – 1,0	0,1 – 1,0
(F) Forte	1,0 – 5,0	1,0 – 2,0	1,0 - 10
(MF) Muito forte	> 5,0	> 2,0	> 10

Fonte: Sá (1998)

A tabela 4 tabela mostra os valores:

Ie. Índice de Explosividade

Si. Sensibilidade de ignição

Pmp. Pressão máx. de expl. Kg/Cm²

Ge. Gravidade de explosão

Vmp. Velocidade Max. de aumento da pressão. Kg/Cm²

T1. Temp. ig. do leito °C.

T2. Temp Ig. da nuvem °C.

E. Energia de ignição Joules

C. Concentração Gr/m³ P.% de O₂ mínimo.

Tabela 4 - Potencial de explosão dos produtos agrícolas

ALGUMAS POEIRAS AGRÍCOLAS (Outras consultar o manual da NFPA)

Tipo de pó	Ie.	Si.	Ge.	Pmp	Vmp	T1	T2	E	C	P
Açúcar em pó	9,6	4	2,4	7,6	350	370	400 ²¹	0,03	46,7	-
Algodão bruto	< 0,1	< 0,1	< 0,1	5,1	28	520	-	1,9	519	C21
Alho desidratado	0,2	0,2	1,2	4	91	360	-	0,24	104	-
Amido de milho	9,5	2,8	3,4	7,4	525	400	-	0,04	46,7	-
Amido de milho malha 325	23,2	4,3	5,4	10	665	390	350	0,03	41,5	C11
Amido de trigo	17,7	5,2	3,4	7	455	430	-	0,03	46,7	C12
Amido de trigo tratado	35	10,6	3,3	8,2	455	380	-	0,03	31,1	-
Arroz	0,3	0,5	0,5	3,3	49	510	450	0,1	88,2	-
Cacau 19% gordura	0,6	0,5	1,1	4,8	84	510	240	0,1	77,8	-
Café Instantâneo	< 0,1	0,1	0,1	4,8	35	410	350	-	290	-
Café torrado	< 0,1	0,2	0,1	2,7	10,5	720	270	0,2	88,2	C17
Canela	5,8	2,5	2,3	8,5	273	440	230	0,03	62,2	-
Casca de amêndoa	0,3	0,9	0,3	7,1	98	450	210	0,08	67,4	-
Casca de amendoim	4	2	2	8,2	560	460	210	0,05	46,7	-
Casca de arroz	2,7	1,6	1,7	7,6	280	450	220	0,05	57	-
Casca de coco	4,2	2	2,1	8,1	2,9	470	220	0,06	36,3	-
Casca de noz de cacau	13,7	3,6	3,8	5,4	231	470	370	0,03	41,5	-
Casca de semente de pêssego	7,1	3,1	2,3	8,1	329	440	210	0,05	31,1	-
Casca noz preta	5,1	3	1,7	7,9	280	450	220	0,05	31,1	-
Cebola desidratada	< 0,1	< 0,1	< 0,1	2,5	35	410	-	-	135	-
Celulose	2,8	1	2,8	9,1	315	480	270	0,08	57,4	C13
Celulose alfa	>10	2,7	4	8,2	560	410	300	0,04	46,7	-

Fonte: Ary de Sá (1998)

2.3.2 Dimensões da partícula

Quanto menor for a dimensão da partícula de pó, é mais fácil a nuvem entrar em ignição, visto ser maior a superfície exposta por unidade de peso da matéria (superfície específica). As dimensões da partícula influem também sobre a velocidade de crescimento da pressão: para uma concentração dada de pó em peso, um pó formado por partículas grossas mostra uma velocidade de aumento de pressão mais baixa que o mesmo pó fino. A concentração mínima necessária para que haja explosão, a temperatura de ignição, e a energia necessária para ignição por sua vez diminuem ao diminuir a dimensão da partícula de pó. Numerosos estudos indicam este efeito em grande variedade de poeiras.

A dimensão do tamanho da partícula, faz aumentar também a capacidade elétrica das nuvens de pó, ou seja, o tamanho das cargas elétricas que se pode acumular na partícula da nuvem.

Como a capacidade elétrica dos sólidos é função de sua superfície, a possibilidade que se produzam descargas eletrostáticas de suficiente intensidade para colocar em ignição a nuvem de pó, aumenta ao diminuir a dimensão média da partícula.

Porém para que se produzam descargas eletrostáticas se requer, entre outros, consideráveis quantidades de pó em grandes volumes com forças dielétricas relativamente altas e conseqüentemente, longos períodos de relaxação. Devido às altas energias de ignição necessárias para incendiar a nuvem, em comparação com as que requerem os gases. A causa de uma explosão de pó deve atribuir-se a outros fatores, a não ser que existam provas definitivas que demonstrem que esta foi a causa provável. (Ary Sá, 1998)

2.3.3 Concentração

Como acontece com os vapores e os gases inflamáveis existem uma margem específica de concentração de pó dentro do qual pode ocorrer a explosão. Os valores da concentração podem expressar-se em peso por unidade de volume, embora não conhecer-se a dimensão da partícula da amostra, esta expressão é pouco significativa.

Os valores apresentados nas tabelas 4 foram passados em uma peneira de malha 200 (partículas < ou = a 74 microns). Ao trocar o diâmetro, se produzirão variações na concentração mínima de explosão, esta se reduz ao diminuir o diâmetro das partículas. A pureza da amostra, a concentração de O₂, a potência da fonte de ignição, a turbulência da nuvem e a uniformidade da dispersão influem também nos limites inferiores de explosividade da nuvem (LIE). O limite superior de explosividade (LSE) das nuvens de pó não foram determinados devido a dificuldades experimentais, também se questiona se ele existe para poeiras e do ponto de vista pratico sua utilidade é duvidosa.

As curvas que se obtêm ao relacionar graficamente a Pmp. e a Vmp. , com a concentração, demonstram que estes valores são mínimos no limite inferior de explosividade e que depois aumentam até seu valor máximo ao dar-se a concentração ótima, em cujo ponto começam a diminuir lentamente. Também se verifica que a Pmp. e a Vmp., não se dão precisamente em igual concentração.

O efeito destrutivo se determina em primeiro lugar pela Vmp. Se observa que as explosões mais violentas se produzem com uma concentração ligeiramente superior a necessária para que se tenha a reação com todo o oxigênio que haja na atmosfera.

As concentrações menores se gera menos calor e se criam menores pressões de ponta. Com concentrações maiores das que causam explosões violentas, a absorção do calor pela poeira não queimada pode ser a razão que se produzam pressões menores de explosão, que a máxima. (Ary Sá, 1998)

2.3.4 Umidade

A umidade contida nas partículas de pó faz aumentar a temperatura de ignição delas devido ao calor absorvido durante o aquecimento e a vaporização da umidade. A umidade do ar tem pouco efeito sobre a deflagração, depois que se produzir a ignição, existe, porém uma relação direta entre o conteúdo de umidade, a energia mínima necessária para a ignição, a concentração de explosão mínima, a Pmp. e a Vmp. Por exemplo, a temperatura de ignição do amido de milho pode aumentar até 50 ° C com um aumento de umidade de 1,6 a 12,5%.

Do ponto de vista prático, a umidade não pode considerar-se como meio efetivo de prevenção contra explosões, pois a maior parte das fontes de ignição, proporcionam energia suficiente para aquecer e evaporar a umidade que pode estar presente no pó. (Ary Sá, 1998)

2.3.5 Materiais Inertes

A presença de um sólido inerte no pó, reduz a combustividade do mesmo, pois absorve calor, porém a quantidade necessária para impedir a explosão é considerada maior que as concentrações que possam ser encontradas ou toleradas como corpos estranhos ao processo.

A adição de corpos inertes reduz a V_{mp} . E aumenta a concentração mínima de pó necessária para a explosão. Um exemplo é a pulverização de rocha nas minas de carvão para impedir as explosões dos pós combustíveis. Geralmente a pulverização se faz na entrada das minas com uma concentração de poeira de rocha de 65% da quantidade total do pó.

O gás inerte é eficaz na prevenção das explosões de pós, uma vez que dilui o O_2 a uma concentração muito baixa. Ao selecionar o gás inerte mais adequado, deve-se cuidar para que este não reacione com o pó, é o caso de certas poeiras metálicas que reacionam com o CO_2 ou com o N_2 , neste caso deve usar-se Hélio (He) ou Argônio (Ar). (Ary Sá, 1998)

2.3.6 Concentração de O_2 turbulência e efeito de gases inflamáveis

As variações da concentração do O_2 afetam a facilidade de ignição das nuvens de pó e suas pressões de explosão. Ao diminuir a pressão parcial de O_2 , a energia necessária para explosão aumenta, a temperatura, também, e as P_{mp} ., diminuem. O tipo de gás inerte empregado como diluente para reduzir a concentração do O_2 tem um efeito aparentemente relacionado com a capacidade molar.

A combustão do pó se produz na superfície das partículas. A velocidade de reação, portanto, depende do íntimo contato do pó com o O_2 . Por este fato, o fator

turbulência propicia explosões mais violentas, que as em atmosferas mais tranquilas.

A adição de uma pequena quantidade de gás inflamável à nuvem de pó, põe em ignição o aerossol resultante, reforçando a violência da explosão, sobretudo a baixas concentrações. As Vmp., resultantes são mais altas que as previsíveis em condições normais. Sem contar o pó, a fração restante do total do combustível suspenso no ar, representada pelo vapor inflamável, estaria por si só abaixo de seu (LIE).

Em algumas operações de secagem que impliquem na evaporação de uma substância inflamável extraída da poeira combustível, se produzem explosões muito mais violentas que as consideradas apenas pelo vapor inflamável.

Ocorrem ainda explosões em misturas de vapor inflamável-pó combustível-ar em que a proporção da mistura de ar vapor estava abaixo do (LIE), ante tal situação é necessário prever medidas de proteção especial, tal como a diluição com gás inerte, utilização de supressores de explosão, instalação de elementos de ventilação de grandes dimensões e a adoção de métodos cuidadosamente estudados da eliminação da eletricidade estática (aterramento). (Ary Sá, 1998)

2.3.7 Fontes de ignição das nuvens de poeira

As nuvens de poeira podem incendiar-se pela ação de chamas abertas, luzes, produtos defumadores, arcos elétricos, filamentos incandescentes, faíscas de fricção, condutos de vapor de alta pressão, e outras superfícies quentes, faíscas eletrostáticas, aquecimento espontâneo, solda e corte oxi-acetilênico, e faíscas procedentes destas operações.

A maior parte das temperaturas necessárias para por em ignição as nuvens de pó, que está na tabela 4, situam-se entre 300 e 600 ° C. e a grande maioria das potências estão entre 10 e 40 milijoules. Comparando-se estes dados com as energias de ignição necessárias para inflamar vapores que são de 0,2 a 10 milijoules. As poeiras necessitam de 20 a 50 vezes mais energia que os gases.

Como a temperatura e a fonte de ignição necessárias para explodir poeiras são muito mais baixas que as produzidas pela maior parte das fontes de ignição comuns, a eliminação de todas as fontes é um principio básico na prevenção de acidentes por

explosão. Estas fontes estão identificadas e descritas nas normas NFPA (National Fire Prevents of Acidents). (Ary Sá, 1998)

2.3.8 Destrutividade das explosões de poeiras

Embora a destrutividade das explosões de poeiras, dependam fundamentalmente da Vmp. intervém outros fatores como a pressão máxima desenvolvida durante a sobrepressão, o grau de confinamento do volume da explosão e a concentração de oxigênio. (Ary Sá, 1998)

2.3.9 Efeitos da velocidade de aumento de pressão

A Vmp. pode definir-se como a relação entre o aumento de pressão de explosão e o período de tempo em que sucede. É o fator mais importante para avaliar os riscos de uma poeira e determinar a gravidade da sua deflagração.

Também é importante como dado para calcular as dimensões dos elementos de ventilação para casos de explosão. Uma vmp. (velocidade máxima de aumento de pressão) demasiado alta indica com frequência que a instalação dos elementos de ventilação são ineficientes.

Os dados empíricos de ge. (gravidade de explosão) da tabela 4 são indicadores de grande valor na análise do projeto. Índices entre 2 e 4 necessitam elementos de ventilação muito grandes, além de cuidar da resistência do edifício e dos equipamentos das máquinas.

Um índice maior que 4 exclui na maioria dos casos a possibilidade de projetar-se um sistema de alívio de explosões, e exige o emprego de dispositivos de proteção com o emprego de gases inertes e outros sistemas de supressão de explosões. (Ary Sá, 1998)

2.3.10 Efeitos da pressão máxima de explosão

As pressões mostradas na tabela 4 são em sua grande maioria maiores que 3,5 kg/cm² e em alguns casos chegam a 7 kg/cm² considerando que uma parede comum é

calculada para resistir pressões de $0,07 \text{ kg/cm}^2$ fica evidente que não seria prático construir edifícios que pudessem resistir a tais fenômenos.

Uma das razões pelas quais o grau de destruição de muitas explosões de pó não chega a ser maior é que o pó não está dispersado uniformemente através do volume circundante. Raras vezes se incendeia uma nuvem de pó em condições ideais para a formação de pressões observadas empiricamente. (Ary Sá, 1998)

2.3.11 Efeitos da duração da sobrepressão

O tempo durante o qual atua a sobrepressão sobre o espaço circundante está intimamente relacionado com a pressão máxima e com a velocidade máxima de aumento de pressão. A área que fica abaixo da curva de pressão - tempo determina o impulso total exercido. O impulso total, não a força exercida em um dado momento, que determina a grandeza da destruição.

A relação entre a destrutividade e o impulso total demonstra em parte porque as explosões de pó, que em geral tem velocidades de aumento de pressão mais baixas que as explosões de gases, podem ser mais destrutivas. (Ary Sá, 1998)

2.3.12 Efeitos do confinamento

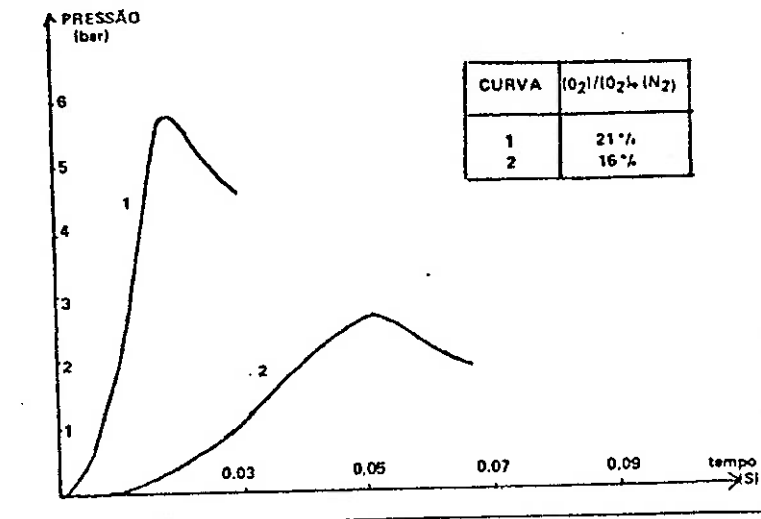
Quando se produz uma explosão de pó, formam-se produtos gasosos e libera calor que faz aumentar a temperatura do ar contido no recinto. Como os gases expandem-se ao aquecerem, exercem pressões destrutivas no espaço circundante, a não ser que se proporcionem áreas de alívio suficientes para evacuar os gases quentes antes que atinjam níveis de pressão perigosos.

Desta forma um sistema de alívio adequado deve ser previsto para aliviar os gases formados no início, evitando danos maiores. Em algumas situações não resulta prático estas medidas aconselhando a processar estas operações em ambientes abertos, atmosferas inertes ou de supressores automáticos. Os supressores consistem em um sistema formado por detectores de pressão ou de chamas e um agente extintor que deve atuar rapidamente na fase incipiente de explosão. (Ary Sá, 1998)

2.3.13 Efeitos da inertização

Os ensaios levantados indicam que a redução do O_2 na atmosfera de trabalho e uma mistura de poeira inerte ou umidificação no pó combustível reduzem a P_{mp} , e a V_{mp} . Como pode ser visto na tabela 5 abaixo. Elas mostram que poeiras de amido de milho concentrado a $0,5 \text{ kg/m}^3$ de ar. Em relação com a pressão de explosão, uma ligeira redução na concentração de O_2 ou adição de uma pequena quantidade de pó inerte ou umidade reduzem os efeitos. (Ary Sá, 1998)

Tabela 5 – Influência do teor de O_2 sobre os efeitos de uma explosão



Fonte : (CALÇA , 2005 , pg 63)

3. LOCAIS DE RISCO

Segundo (Silva, 2005), explosões ocorrem freqüentemente nas unidades processadoras de trigo, milho, soja, cevada, assim como em processamento de particulados como açúcar, arroz, chá e cacau, onde as poeiras tenham propriedades combustíveis. Isto ocorre em pontos das instalações onde haja moagem, descarga, movimentação, transporte etc., desde que sem controle de exaustão e, obviamente existam os fatores desencadeantes.

A seguir, a descrição dos principais riscos de uma unidade de recepção, beneficiamento, armazenamento de grãos e produção de rações balanceadas.

O processo se inicia com a chegada à planta dos caminhões graneleiros que, ao abrir as tampas da carroceria para descarregar seu produto sobre as moegas ou mesmo com a utilização de plataforma de descarga (tombador), produzem uma enorme nuvem de poeira, em condições e concentrações propícias a uma explosão.

Se na condição de nuvem em suspensão já há grande risco de explosão, quanto mais se estas poeiras estiverem em locais confinados, como ocorre nos corpos dos transportadores diversos verticais (elevadores de canecas) e horizontais (roscas helicoidais, transportadores por corrente – conhecidos como redlers, fitas transportadoras) que, por suas características funcionais, levam em seu bojo os ingredientes necessários para a deflagração de um sinistro, só que nestas condições com danos muito superiores do que os de superfície, pois uma explosão confinada tem suas pressões enormemente aumentadas para buscar seu equilíbrio natural, destruindo assim os túneis de concreto localizados a vários metros da superfície e chegando a aflorar a superfície do piso devido às grandes pressões exercidas. (Silva,1999)

A figura 3 a seguir demonstra um exemplo da concentração de poeira dentro de um túnel.



Figura 3 - Concentração de poeira depositada dentro de um túnel

Tem-se ainda como problema os próprios filtros de pó, como os ciclones, exaustores e os filtros de manga. Estes equipamentos que têm por função justamente a retenção do pó para evitar que sejam transportados para os equipamentos a jusante, eles mesmos se tornam pontos de risco para uma deflagração se eventualmente houver um ponto de ignição em seu interior.

Os secadores normalmente possuem sua matriz de aquecimento a fogo vivo, a lenha, sendo o risco uma constante neste setor; muitas vezes é neles que se iniciam os incêndios.

Nos silos (metálicos ou de concreto), o problema maior é quanto ao risco de explosões confinadas em seu interior quando das manutenções nas entre safras, quando os reparos necessários são efetuados a solda ou maçarico, pois a poeira interna normalmente é movimentada pelas pessoas da manutenção, e sendo o silo uma peça fechada, suas explosões são também catastróficas. (SÁ, 1997; 1998).

O armazenamento de grãos e farelos em barracões graneleiros também é fator de risco à explosão de pó. Normalmente estas construções possuem grandes

dimensões com larguras variando de 20 a 50 metros, comprimentos de até 150 metros, arcos de cobertura com alturas de 10 a 20 metros.

O piso de fundo pode ser plano ou em forma de “V”. O carregamento geralmente se dá por transportadores instalados no ponto mais alto da cobertura em passarelas fixadas à própria estrutura de cobertura. Como as alturas são grandes, a descarga do produto no barracão gera grandes nuvens de poeira, principalmente se o produto não sofreu a limpeza de modo eficiente nos equipamentos a montante. Para o esvaziamento, alguns desses graneleiros possuem túneis com equipamentos transportadores que normalmente conduzem para elevadores de canecas instalados nos extremos do barracão, com poços profundos.

O sistema composto por túneis e poços de elevadores constitui também áreas de grande risco a explosões.

Outra fonte de risco dentro do processo produtivo são os moinhos de martelo, se a vedação não for adequada. Segundo estatísticas, as principais fontes de ignição causadoras de acidentes com explosão de pó são:

- Faíscas mecânicas = 50%;
- Eletricidade estática, corte e solda, faíscas a arco = 35%;
- Sobreaquecimento = 15%.

Os principais equipamentos e/ou locais críticos ao surgimento destes acidentes são:

- Moinhos e trituradores = 40%;
- Elevadores e Transportadores = 35%;
- Coletores de pó e silos = 15%;
- Secadores = 10%.

As principais instalações que sofreram acidentes por explosão de pó são:

- Instalações de silos armazenadores = 67%;
- Moinhos de alimentos balanceados = 16%;
- Instalações de processamento de milho = 3%;
- Moinhos de farinha = 2%;
- Outros lugares = 12%.

Fonte: (Pó mortal, entre 1970 e 1980).

3.1 Silos Metálicos

Os silos metálicos de média e pequena capacidade, em geral são metálicos, de chapas finas ou corrugadas, de ferro galvanizado ou alumínio, fabricados em serie ou montadas sobre o piso de concreto devidamente impermeabilizado com asfalto.

Para que seja evitado, o fenômeno da condensação do vapor de água nas paredes internas do silo e a migração da umidade são equipados com sistema de aeração. O equipamento mecânico para o carregamento e descarga dos grãos pode ser portátil empregando-se elevadores de caçambas, helicoidais ou pneumáticos.

Os silos metálicos de ferro galvanizado exigem uma constante conservação, nas regiões próximas ao mar. Nas construções deve-se ter em vista uma vedação perfeita contra as intempéries, sendo os interstícios das portas e alçapões a prova de umidade. (Manzoni et alli, 2000)

3.2 Armazéns Graneleiros

Face o seu baixo custo em relação ao silo elevado e rapidez na construção, o interesse sobre o emprego do armazém graneleiro tem sido crescente em muitos países, inclusive no Brasil.

Diversas cooperativas das regiões Centro-Sul do Brasil implantaram esse tipo de unidade armazenadora, a qual não oferece condições de adequação técnica a estocagem por um longo período. Estas unidades são caracterizadas por grandes compartimentos de estocagem de concreto ou alvenaria onde a massa de grãos é separada por septos divisórios, geralmente em número de dois que dividem a unidade em depósitos iguais. Os septos divisórios objetivam maior rapidez de movimentação e melhores condições para o controle preservativo do produto.

A unidade apresenta fundo cônico, em forma V, possuindo equipamento automático para carga e descarga. As aberturas laterais que apresentam esses graneleiros, além de permitir a entrada de insetos, causando reinfestações constantes, não apresentam condições para um possível arejamento, sendo que o ar quente, mais leve e que tem acesso no interior do depósito. (Manzoni et alli, 2000)

3.3 Transportes de Grãos a Granel

Unidades armazenadoras de grãos apresentam constituídas por: (a) estruturas físicas: moegas, silos-pulmões, silos armazenadores ou graneleiros, (b) maquinários: secadores, máquinas de pré-limpeza e de limpeza, e (c) transportadores: elevadores de caçamba, correias transportadoras, transportadores helicoidais e transportadores de correntes.



Figura 4 - Unidade Armazenadora

Fonte: disponível em http://www.agais.com/ag0605_manu_transportadores.pdf

A função dos transportadores é interligar estruturas e maquinários, movendo a massa de grãos nas direções: vertical, horizontal ou inclinada. Para o desempenho destas funções é imprescindível a realização de manutenções cuidadosamente planejadas e executadas, o que: (a) minimiza a possibilidade de quebra dos equipamentos; e (b) reduz a perda de tempo em paralisações. As manutenções são tipificadas como de rotina, emergência e preventiva.

3.3.1 Elevadores de caçambas

São equipamentos projetados para movimentar produtos no sentido vertical. Estruturalmente, são dotados de caçambas fixadas sobre uma correia estendida entre duas polias posicionadas na vertical. As caçambas podem possuir diferentes formatos

e serem construídas em materiais metálicos ou plásticos; ou ainda metálicos com revestimento plástico.

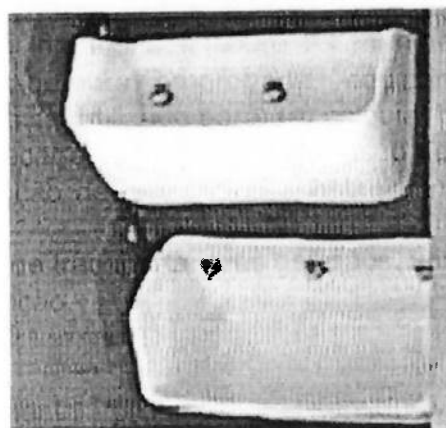


Figura 5 - Elevador de caçambas

Figura 6 - Caçambas de polietileno

Fonte: disponível em http://www.agais.com/ag0605_manu_transportadores.pdf

A polia superior, também denominada polia motora ou tambor motriz, tem por função tracionar a correia de canecas. O acionamento é feito por um motor elétrico que é acoplado por meio de correias ou um motor-reductor.

Geralmente, junto ao tambor motriz é montado um sistema de freio. Este tem por função evitar o retrocesso da correia de canecas cheias de produto. Isto, por exemplo, pode ocorrer na falta de energia elétrica. Assim, ocorre acúmulo de grãos no pé do elevador impossibilitando uma nova partida. Os sistemas de freios mais simples são o de catraca e o de cinta.

A polia inferior, denominada polia tipo gaiola, é montada em mancais deslizantes acoplados em parafusos, o que permite esticar e alinhar a correia de canecas.

3.3.2 Correias transportadoras

Correias transportadoras ou fitas transportadoras são equipamentos projetados para movimentar produtos no sentido horizontal. Mas, podem operar com inclinação de até 12°, o que afeta a eficiência operacional. Estes equipamentos são constituídos por uma correia estendida entre os tambores motriz e de retorno, e apoiadas sobre

vários roletes. Para fins agrícolas são comercializados no Brasil equipamentos com capacidade de 30 a 320 t/h.

Junto ao tambor motriz é montado (a) o motor elétrico que é acoplado por meio de correias ou um motor-reductor; e (b) o sistema mecânico para esticar a correia. Este sistema atua sobre os mancais que suportam o tambor de retorno, por meio de parafusos, ou um contra peso atado a trilhos sobre os quais estão os mancais.

A carga das correias transportadoras pode ser feita por meio de tremonhas ou calhas, e estas podem ser fixas ou moveis. Assim, é possível receber o fluxo de grãos em várias posições ao longo do transportador. Quanto à descarga, esta pode ser na extremidade final, ou em pontos intermediários por meio do carro de despejo.

As correias transportadoras apresentam em diferentes configurações: (a) simples - conduz produto em único sentido, (b) reversível - transporta produtos em dois sentidos, (c) dupla - conduz produto em dois sentidos ao mesmo tempo, e (d) blindada - quando a correia é montada envolta por caixa metálica.

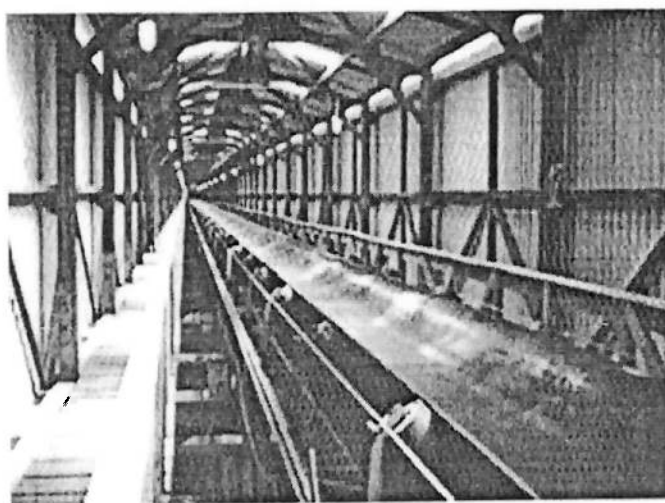


Figura 7 - Correia transportadora

Fonte: disponível em http://www.agais.com/ag0605_manu_transportadores.pdf

3.3.3 Transportador helicoidal

Transportador helicoidal, rosca sem-fim ou caracol, é utilizado no transporte horizontal, vertical e inclinado. É frequentemente empregado em descargas de: silos, máquinas de pré-limpeza, e secadores. Podem apresentar sem revestimento ou instalados em calhas abertas e tubulares. Podem ainda, serem fixos ou moveis

quando são montadas sob rodas.

Na maioria das vezes opera dentro de condutores, calhas, calhas em forma U ou tubos metálicos. As roscas sem fim que operam livres, sem os referidos condutores, são chamados de roscas varredoras e destinam-se a descarga de silos de fundo plano, fazendo chegar os grãos junto ao canal coletor, moega. De modo geral operam acoplados ao eixo de um segundo transportador.

A capacidade varia, segundo a intensidade da rotação, diâmetro, e passo (distância entre dois dentes consecutivos e paralelos ao eixo). Quanto ao diâmetro deve-se levar em conta o diâmetro do helicóide e do eixo da rosca para o cálculo da capacidade.

Operacionalmente, são equipamentos muito versáteis, no entanto não devem ser empregados em unidades de beneficiamento de sementes devido à alta probabilidade de ocorrência de danos mecânicos. Quando da manutenção preventiva deve ser verificado: (a) estado dos rolamentos, (b) alinhamento e (c) estado do helicóide e da calha.

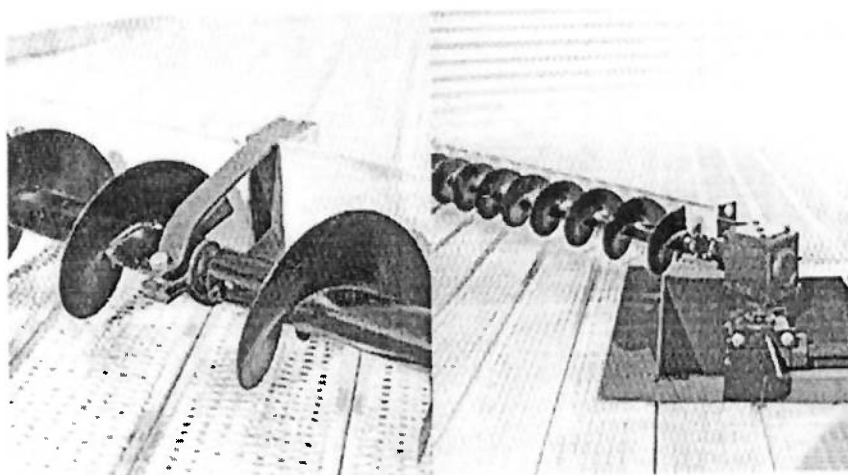


Figura 8 - Roscas transportadoras

Fonte: disponível em http://www.agais.com/ag0605_manu_transportadores.pdf

3.3.4 Transportadores de corrente

Transportador de corrente, também denominado redler, é aplicado ao transporte de produtos na horizontal ou em inclinações de até 40°, no entanto, a capacidade operacional decresce em 33%. Geralmente, nestes equipamentos, as correntes são montadas em calhas metálicas com formado retangular ou em "U".

Quanto aos tipos de palhetas fixadas à corrente, estas podem ser de madeira, metal ou polietileno.

Quanto à manutenção deve ser verificado o (a) estado dos rolamentos, (b) alinhamento da corrente (c) estado das palhetas e (d) vedação da calha.

Consiste basicamente, de uma corrente a qual move-se sobre uma superfície metálica arrastando os grãos.

É um transportador simples e versátil, pois permite a carga e descarga em diversos pontos, através de aberturas reguláveis na superfície rígida. Não se adapta para o transporte de grãos com elevado fluxo. É muito empregado em silos e armazéns graneleiros. Pode operar com inclinação maior que os transportadores de correia, isto é, com uma inclinação de até 30°.

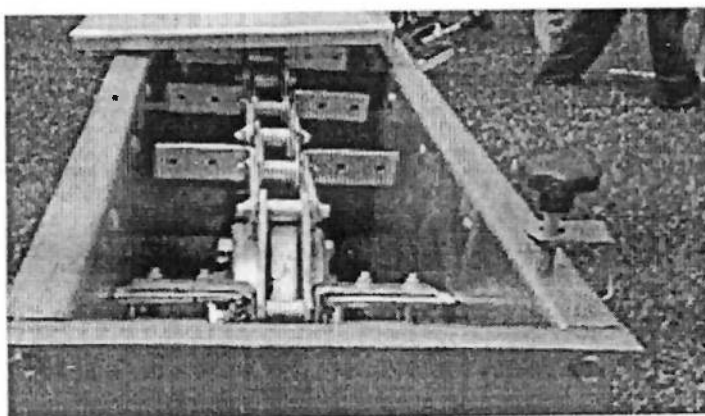


Figura 9 - Transportador de corrente – Redler

Fonte: disponível em http://www.agais.com/ag0605_manu_transportadores.pdf

4. NORMATIZAÇÃO

No Brasil, não há nenhuma norma que trata especificamente sobre o fenômeno EXPLOSÃO DE PÓ. A ABNT colabora com as norte-americanas NFPA, NEMA, NEC e IEC, assim como as normas européias EN e DIN, entre outras a nível mundial, sendo que NRs é que definem padrões de segurança para ambientes considerados perigosos ao trabalho humano. Os produtos de risco são classificados pela ABNT (NBR 5418), a qual é baseada na Instrução Européia IEC 79/14-1984.

No exterior devido ao maior número de acidentes a legislação e os estudos estão mais aprofundados. Nos EUA existe a norma NFPA 68, do órgão de mesmo nome que regulamenta os procedimentos para combate a incêndios e explosões.

A NFPA trabalha em conjunto com o OSHA. Para evitar o perigo de explosão, regras de proteção em forma de leis, de especificações e normas têm sido desenvolvidas em muitos países e objetivam garantir que um alto nível de segurança seja observado.

Devido à globalização, um extensivo progresso tem sido feito na conciliação de regras para a proteção contra explosões. As condições para a completa harmonização foram criadas na União Européia pela Diretriz EC 9194. A Diretriz 94/9/EC foi lançada em 1994 para padronizar a proteção contra explosão. No entanto, mundialmente há muito ainda a ser feito nessa área. (R. STAHL SCHALTGERÄTE GMBH; R. STAHL FÖRDERTECHNIK GMBH, 1999).

A ABNT adota a classificação em zonas (ABNT, NBR-5418, 1995) baseada nas recomendações da IEC 79-10, que distinguem as seguintes categorias de zonas perigosas: zona 0, zona 1 e zona 2. Estas zonas são geográficas, mas os limites entre cada uma delas dificilmente são bem definidos.

Uma zona pode se deslocar por diversos motivos: aquecimento dos produtos, ventilação falha do local, variações climáticas, erro de manipulação. Na zona 0, a atmosfera explosiva está sempre presente; na zona 1, a atmosfera explosiva está frequentemente presente e; na zona 2, a atmosfera explosiva pode acidentalmente estar presente.

Já a NFPA e NEC adotam a mesma classificação apenas chamando-as de divisões. A operação de equipamentos elétricos em atmosferas potencialmente explosivas, por sua própria natureza constituem uma fonte de ignição e devem atender os requisitos estabelecidos em normas internacionais, como por exemplo, NFPA 497.

Estas normas apresentam os critérios para definição de área classificada, em função do potencial de risco das substâncias inflamáveis. A poeira de grãos e farelos é classificada como da classe II, grupo G, onde se incluem poeiras combustíveis com resistividade igual ou superior a 105 ohm.cm. (MASHI, 2000).

Ainda para equipamentos elétricos há a classificação em Grupos de Explosão, onde se classifica como grupo II os aparelhos elétricos para todos os outros ambientes potencialmente explosivos remanescentes. Sendo assim, os aparelhos elétricos em instalações de armazenagem de grãos e farelos estão neste grupo. A etiqueta de identificação de equipamentos elétricos deve mostrar para qual grupo de explosão está designada. (R. STAHL SCHALTGERÄTE GMBH; R. STAHL FÖRDERTECHNIK GMBH, 1999).

O Ministério do Trabalho e Emprego sancionou em 2005 a Portaria nº. 86, que estabelece indicações básicas para se evitar acidentes também proveniente da explosão por pó de produtos agrícolas, ou seja, a NR-31, que em seu inciso 14 orienta sobre operações em silos e muito discretamente cita em alguns pontos a respeito de procedimentos de segurança para evitar a explosão de pó.

Já a NR 33, define procedimentos que devem ser seguidos quando da entrada em espaço confinado, com o objetivo de preservar a vida. Apesar de haver preocupação quanto a manter o ambiente (espaço confinado) limpo e organizado, não define quais os procedimentos que fazem parte para deixar o ambiente limpo e organizado, tampouco menciona quais os riscos presentes quando tiver um ambiente sujo e desorganizado. Não estamos julgando o contexto desta NR, pelo contrário, é uma norma que vem para regulamentar procedimentos muito importantes para salvar vidas, porém não se encaixa na solução do problema do presente trabalho.

5. PROCEDIMENTOS PARA EVITAR A EXPLOSÃO POR PÓ EM SUSPENSÃO

É recomendável que cada empresa armazenadora - independente do tipo de silo ou do seu porte, invista em segurança, equipamento e treinamento. Estes investimentos são mínimos em relação ao grande retorno e tranqüilidade que oferece.

Como medidas operacionais preventivas (Silva, 1999), recomendam-se:

- Proceder à cuidadosa limpeza da massa de grãos;
- Fazer uso contínuo dos sistemas de captação de pó;
- Limpar periodicamente os sistemas de captação de pó trocando os filtros nos períodos definidos pelos fabricantes;
- Proceder a limpeza das instalações evitando o acúmulo de pó;
- Treinar os operadores e demais funcionários quanto os potenciais riscos de explosões;
- Fazer manutenções periódicas dos equipamentos eletro-mecânicos;
- Certificar periodicamente os estado dos cabos elétricos;
- Tomar os devidos cuidados ao utilizar aparelhos de solda nos serviços de manutenção;
- Aspergir a massa de grãos em movimento com óleos minerais para reduzir a emissão de pó;
- Substituir as caçambas dos elevadores e pás dos transportadores correntes metálicas por componentes plásticos.

5.1 Medidas Preventivas

5.1.1. Treinamento de pessoal

Na verdade, provavelmente não existem métodos de prevenção de fogo perfeitamente seguros. No entanto, há muitas coisas a serem feitas para reduzir os riscos de uma explosão. Mas o treinamento de todos os empregados com métodos de prevenção de incêndio e controle de pó, são meios importantes para reduzir os riscos de explosão.

Muitas empresas já possuem normas internas com procedimentos de prevenção como relatórios de inspeção e/ou manutenção para as instalações. Proibir a prática de fumo em ambientes classificados como atmosferas explosivas.

Placas de proibido fumar devem ser colocadas nas entradas e locais de maior afluência na fábrica. Treinamentos devem sempre ser feitos para não fugir da memória os riscos de uma explosão por pó em suspensão.

5.1.2. Limpeza

A explosividade da poeira depende da concentração, da distribuição, tamanho das partículas, concentração de oxigênio e uma fonte de ignição. Um bom programa de conservação é essencial para o controle de pó.

Proceder à cuidadosa limpeza da massa de grãos e das instalações, evitando o acúmulo de pó. Armazenar grãos com um máximo de 1% de impureza é importante não apenas do ponto de vista comercial, mas da prevenção de explosões. A qualidade de produto a ser armazenado também influi na existência ou não de risco de explosão, pois, um cereal que passou por máquinas de limpeza desreguladas levará para dentro do silo a poeira e sujeira que não foi devidamente retirada nos processos de limpeza.

Evitar o acúmulo de pó em equipamentos, tubulações e chão é de máxima importância. Um housekeeping, 5S, ou qualquer outro programa eficiente de manutenção deve ser criado. A fábrica deve ser limpa todo dia e não somente no final do dia de trabalho. Escovas e vassouras são provavelmente os métodos mais utilizados. A pintura lisa e brilhante impede a fixação do pó sobre o equipamento.

Ar comprimido não é recomendado para limpeza, pois, pode criar perigo de suspensão crítica de pó no ar.

5.1.3. Sistemas de captação de pó

Fazer uso contínuo dos sistemas de captação de pó ao longo do trajeto dos grãos na unidade, como:

- Nos elevadores, próximo à parte inferior, e um ou mais pontos dos dutos e na

parte superior, junto ao acionamento;

- Incluir pontos de captação de pó nas correias transportadoras, na calha de carga, no carro de descarga móvel, inclusive na descarga e no "chute" de descarga, além dos pontos críticos das tubulações de transporte de grãos;
- Nos demais transportadores como nos redlers, roscas, fitas, etc., tomar medidas semelhantes segundo as necessidades;
- Também nas máquinas de beneficiamento como máquinas de limpeza e secadores, providenciar a coleta do pó e outras impurezas de sorte que não sejam lançadas ao meio ambiente;
- Limpar periodicamente os sistemas de captação de pó trocando os filtros nos períodos definidos pelos fabricantes;
- As unidades de despoeiramento tais como: filtros, ciclones, precipitadores, câmaras inerciais, etc., não devem reter poeiras quando desligados;
- O sistema de aspiração de pó pode ser interligado com o transporte de grãos, assegurando operação simultânea em ciclones e filtros.



Figura 10 - Filtros pulse jet em moegas
Fonte: Disponível em: www.safetyguard.com.br

No processo de recebimento de produtos como cereais, farelo ou outros, vindos por via rodoviária ou ferroviária, quando são descarregados ou são transportados, geram no choque com a moega e ou equipamentos de transporte, quantidades significativas de pó que contaminam o maquinário, o ambiente e causam sérios problemas de saúde aos operadores e riscos de explosões. Para reduzir os níveis de emissões de pó do ambiente em níveis aceitáveis, deverão ser instalados

sistemas de despoeiramento junto à fonte poluidora, onde o pó é aspirado, coletado e tratado. Os principais sistemas a serem executados em uma unidade de armazenamento de grãos são:

- Aspiração nos pontos de transferências.
- Aspiração nas Moegas Rodoviárias
- Aspiração nas Moegas Ferroviárias.
- Ventilação nos locais confinados
- Filtros compactos pontuais
- Aspiração nos pontos de transferências.

O sistema consiste em aspirar o pó nos pontos de maior emissão dos poluentes por meio de captadores tecnicamente dimensionados, e transportando por tubulações ramais até a tubulação central. No final da linha, o material é separado do ar por um filtro de mangas. Após o filtro de mangas um ventilador centrífugo admite o material e insufla o ar limpo para a atmosfera.

Os principais pontos de aspiração em pontos de transferências em um armazém graneleiro, são:

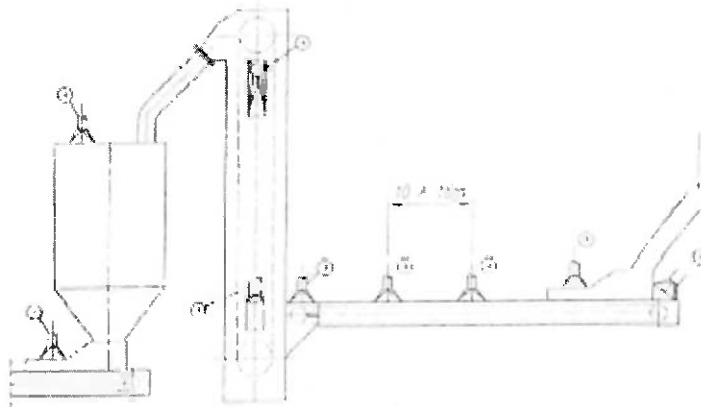


Figura 11- Esquema da localização dos pontos de aspiração

Fonte: Disponível em: www.safetyguard.com.br

- 1- Admissão de produto de transportadores de correias ou chutes.
- 2- Descarga produtos de transportadores correia, balanças, chutes.
- 3- Despoeiramento ao longo do transportador de correia.
- 4- Elevador de Canecas.
- 5- Balanças de fluxo.
- 6- Máquinas de limpeza.

O cálculo de vazão para cada um destes pontos deverá ser baseado na experiência dos engenheiros desta área e comparado com os cálculos ideais recomendados por entidades como ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) e ser adotado o que melhor eficiência apresentar, por exemplo: na admissão de produtos vindos de transportadores de correia ou chutes, estes deverão ser enclausurados e manter de 150 a 200 pés/min na abertura e de no mínimo uma vazão de 350 pés³/min por pé largura de correia. Em transferências com altura de queda maior que 3 pés, usar um ponto adicional. (Naschold, 2004)

- Aspiração nas Moegas Rodoviárias

Os produtos, geralmente são descarregados nas moegas rodoviárias, por três maneiras diferentes, que são:

- Manual: os caminhões estacionam sobre as moegas e são abertas as tampas inferiores ou as laterais da carreta onde o produto é descarregado por gravidade na moega. Neste caso, os operadores terão contato direto com o pó, pois os grãos, farelos ou outros remanescentes sobre a carreta, deverão ser retirados manualmente por meio de pás, vassouras ou outros.

Este tipo de descarregamento deve ser evitado ao máximo, pois, o operador fica dentro do captor e junto ao pó. Neste caso é indispensável que os envolvidos no descarregamento usem máscara de proteção respiratória.

- Caçamba: os caminhões descarregam o produto na moega somente pela tampa traseira mediante o basculamento da caçamba. Neste caso os operadores ficam fora da ação do pó.

- Tombadores: o produto é descarregado como nos caminhões de caçamba, ou seja, as moegas são equipadas com uma plataforma longitudinal equipada com pistão hidráulico, que bascula todo o veículo, formando um ângulo de até 45 graus, onde o material flui e é descarregado para dentro da moega de recepção. Qualquer tipo de caminhão pode ser usado neste sistema, caminhão tipo carreta, treminhão ou com caçamba.

No que se refere à proteção da saúde do operador, este sistema é o que apresenta maior eficiência. O sistema de despoeiramento para os caminhões tipo caçamba ou moegas equipadas com tombador, consistem no enclausuramento da parte posterior do veículo e parte do conjunto da moega e plataforma, por meio de

uma cabine metálica equipada com captosres laterais que aspiram o ar e os contaminantes e levam até os filtros de mangas, onde são tratados.

Para evitar que o pó gerado na queda no fundo da moega ou mesmo de produto com produto, as grades são fechadas com lamelas que se abrem e se fecham automaticamente com o peso do material.

Também, para restringir que correntes de ar externas inconvenientes ao sistema não interfiram e que possam prejudicar a eficiência de aspiração, as entradas dos caminhões são equipadas com portas e as saídas são dotadas com mantas de borracha flexível. Logo, o sistema completo, consiste na aspiração do pó abaixo e acima da grade da moega, auxiliado em grande parte pelas lamelas e pela aspiração dos captosres laterais sobre a moega, que possuem a função de aspirar o pó fugitivo que estão sendo gerados no choque com a grade da moega.

Fora da cabine, um sistema composto de ventilador centrífugo, tubulações de transporte e filtros de mangas, aspiram o pó e jogam o ar tratado e limpo novamente para o ambiente.

Para o cálculo da vazão necessária de aspiração para este tipo de sistema de despoeiramento enclausurado, deverão ser considerados no mínimo três critérios de verificação, sendo adotada como a vazão do sistema, o que alcançou o maior valor, ou seja: mínima velocidade nas aberturas de operação, taxa de renovações por hora no ambiente a ser estipulada dependendo do produto e tipo de caminhão e o cálculo do volume de ar deslocado no tempo de descarga dos caminhões.



Figura 12 - Descarregamento de cereais de caminhões com moega equipada com tombador

Fonte: Disponível em: www.safetyguard.com.br

- Aspiração nas Moegas Ferroviária

O produto é descarregado manualmente e cai por queda livre na moega, por meio das aberturas das bicas de descarga dos vagões ou pelas portas laterais. O sistema de despoeiramento é semelhante aos anteriores. O sistema consiste no enclausuramento dos vagões, por meio de uma cabine envolvendo toda extensão do descarregamento, sendo as entradas e saídas desta cabine, dotadas de portas ou cortinas a fim de evitar correntes de ar.

Esta cabine deverá possuir: captores laterais acima e abaixo das grades da moega e entre as aspirações, é importante a colocação de lamelas de fechamento. Neste caso é indispensável que os trabalhadores envolvidos no descarregamento, usem máscara de proteção respiratória



Figura 13 - Aspiração de pó na descarga de moegas ferroviárias

Fonte: Disponível em: www.safetyguard.com.br

5.1.4 Sistemas para supervisão de alinhamento e sensores de velocidade e obstrução

Uma proteção mais completa consiste na instalação de um supervisor de alinhamento de elevador (sensor capacitivo), que detecta desvios axiais da correia, acoplado a sensores de velocidade (o mesmo que supervisor de diferencial de rotação para detectar a patinação da correia, que é um foco de sobre-aquecimento) e a um sensor de obstrução instalado na saída do elevador.

Dispositivos que supervisionam somente a velocidade do eixo matriz não são recomendados. Para correias transportadoras, instalar sensor de velocidade no eixo do tambor de retorno e sensor de embuchamento na descarga. Nos demais transportadores como nos redlers, roscas, fitas, etc., também recomenda-se a utilização de equipamento supervisor de velocidade e possuir sensor de obstrução, posicionado na saída do transportador.

5.1.5 Termometria

Sensores devem ser instalados no interior dos silos, para prevenir o desenvolvimento de focos de combustão espontânea do cereal, além de promover o controle de qualidade do produto armazenado. Para medição de temperatura no interior dos silos, existem atualmente sistemas que incorporam também as funções de sensor de nível e detector de incêndio. Não deve ser ancorado na base do silo, para não servirem de condutor de equalização de potencial.

5.1.6 Manutenção preventiva de acionamento de correias

As correias de transmissão escaparão se tornarem-se frouxas ou se as correias forem desfiadas ou quebradas. Se uma correia necessitar substituição, todas as correias deveram ser substituídas, as cargas de todas as correias podem não ser iguais o que sobrecarregara as tiras. Se a correia não estiver no alinhamento correto, pode-se criar fricção suficiente para o início de um incêndio. Vários tipos de correias de material não incendiável são encontradas no mercado de hoje.

Em elevadores de canecas, os mesmos devem ser equipados com um supervisor diferencial de rotações, para detectar a patinagem da correia e um para detectar o desalinhamento da correia no elevador.

Um bom programa de manutenção reduz a ocorrência de problemas relacionados ao aquecimento excessivo de mancais e roldanas. Outros perigos podem ser evitados com um sistema de inspeção e execução de relatórios.

5.1.7 Canecas e componentes de plástico

Tendo em vista os riscos de explosão devido às fagulhas, recomenda-se o uso de canecas plásticas para elevadores; além de trazer outras vantagens, serve como agente antiestático. Na aquisição de equipamentos novos, preferir elevadores de canecas de material plástico (poliuretano, nylon, ou outro). Recomenda-se também substituir as pás de transportadores (aplica-se aos redlers) e as correntes metálicas por componentes plásticos.

5.1.8. Separador de metais

O cereal recebido deve passar por separadores de metal para tiragem de corpos estranhos metálicos e outros.

5.1.9. Manutenção periódica

Realizar manutenções periódicas dos equipamentos eletro-mecânicos e certificar periodicamente o estado das instalações elétricas. Um bom programa de manutenção é obrigatório numa atividade industrial. A manutenção regular é exigida para se manter a segurança das instalações elétricas em locais de risco. Os funcionários que realizam tal trabalho de manutenção e reparação devem trabalhar sob a orientação de um especialista em proteção contra explosão e deveriam ser informados sobre os perigos específicos envolvidos.

A lubrificação periódica dos pontos específicos das máquinas colabora na prevenção de riscos de acidentes, pois evita sobreaquecimento, faíscas, entupimentos e outros problemas potenciais causadores de faíscas ou até a geração de pó em suspensão.

Antes de realizar qualquer trabalho de reparo ou modificação, deve-se assegurar-se de que não haverá nenhum perigo de explosões durante esse trabalho. Um especialista apropriado deve verificar quaisquer modificações extensivas que possam ter um efeito negativo na proteção contra explosão. Quando houver mudança

de componentes ou de equipamentos totalmente montados, os dados característicos do dispositivo relacionado quanto à explosão devem ser observados.

Toda a parte elétrica deverá contar com revisão periódica, pois com a quase totalidade dos equipamentos metálicos e interligados entre si por peças também metálicas, em eventuais contatos de cabo não isolado, a corrente se transmite gerando acidentes que podem ser de grande extensão. Os motores deverão todos estar aterrados, e junto aos motores de mais alto risco, possuir chave de segurança, também chamada chave de pé.

Cuidados especiais devem ser tomados durante impactos sobre faces enferrujadas ou pintadas com tinta à base de alumínio ou magnésio, visto que alumínio e magnésio reagem com o óxido de ferro (ferrugem) encontrado nas faces da ferramenta de aço.

5.1.10. Cuidados com o uso de aparelhos de solda

Tomar os devidos cuidados ao utilizar aparelhos de solda nos serviços de manutenção. É absolutamente indispensável ter certeza de que não existem gases combustíveis ou pó em suspensão no local em que será feito o uso do aparelho de solda. Recomenda-se que os trabalhos com solda sejam sempre acompanhados por outra pessoa com um extintor por perto e que saiba usá-lo corretamente.

5.1.11. Ventilação

A ventilação local exaustora tem como objetivo principal a proteção da saúde do trabalhador, uma vez que capta os poluentes da fonte antes que os mesmos se dispersem no ar do ambiente de trabalho, ou seja, antes que atinjam a zona de respiração do trabalhador. De uma forma indireta, a ventilação local exaustora também influi no bem estar, na eficiência e na segurança do trabalhador, por exemplo, retirando do ambiente uma parcela do calor, que são liberadas por fontes quentes que eventualmente existam.

Também no que se refere às emissões do pó para os ambientes, os sistemas de aspiração e ventilação, minimizam ou eliminam desta maneira, os risco de incêndios

e explosões. A fim de que os poluentes emitidos por uma fonte possam ser tratados em um equipamento de controle de poluentes como filtros, lavadores, etc, os mesmos têm de ser captados e conduzidos a esses equipamentos, e isso, em um grande número de casos, é realizado por um sistema de ventilação local exaustora ou de um sistema de aspiração.

Logo, é importante lembrar que a Ventilação Industrial, além de preservar a saúde de todos os seres vivos, ainda inclui medidas de segurança contra explosões, incêndios, conservação da planta fabril e a conservação do maquinário.

É necessário insistir que a Ventilação Industrial não visa apenas a atender as condições favoráveis para aqueles que trabalham no interior das fábricas, armazéns e silos, ou nos limites das mesmas. Objetiva, também, impedir que o lançamento na atmosfera, através de chaminés ou outros recursos, de fumaças, poeiras, gases, vapores e partículas venha a contaminar o ar, ameaçando a saúde e a vida da população das vizinhanças e até mesmo de locais relativamente afastados.

Os sistemas de controle de particulado para atmosfera, são compostos basicamente dos seguintes equipamentos:

- Captores, ponto de entrada ou de captação dos poluentes;
- Dutos, responsáveis pelo transporte dos materiais captados;
- Ventilador, responsável pelo fornecimento da energia necessária para movimentação dos gases;
- Equipamentos de coleta responsável pela separação do pó do ar, podem ser filtros de mangas, ciclones, lavadores, venturís, decantadores e outros.

Existem basicamente três tipos de captores, que são: os enclausurados onde a fonte poluidora fica dentro do captor, os do tipo cabines onde existe entrada de ar em um dos lados, os captores do tipo externo este usado mais comumente em peças que giram e não podem ser enclausuradas.

Os ventiladores são compostos basicamente pelo rotor que é a parte girante, pela carcaça, pelo acionamento, que poderá ser elétrico ou não e de seus acessórios como, proteção, tampa, registro, porta de inspeção etc.

Existe uma infinidade de modelos de ventiladores, cada fabricante possui o seu projeto, porém geralmente se resumem em quatro grandes grupos que são: os da linha dos pesados, os leves, os sopradores e os axiais.

Os pesados, projetados com pás radiais, construídos para passagem de material pelo rotor, usados principalmente no transporte de materiais sólidos e fibrosos. Os da linha leve são os ventiladores limit load, usados para fins industriais leves e os sirocós, usados somente em instalações de ar condicionado. Os sopradores são ventiladores de alta pressão e baixa vazão, usados em transportes pneumáticos e injeção de ar em queimadores ou outros. Os ventiladores axiais possuem características totalmente diferentes dos anteriores, por sua construção ser com pás tipo hélice, mais usados em sistemas de renovação de ar ou exaustão.

Existe uma infinidade de separadores ou coletores de pó. Porém os três principais são os a úmido, os ciclones e os filtros de mangas. Os separadores a úmido, apesar de possuírem uma alta eficiência de separação, apresentam um grande problema, pois, usam água, como auxiliar no processo de separação, resultando no final uma espécie de lodo. Este lodo, provavelmente deverá sofrer um tratamento químico complementar acompanhado de filtração ou decantação, para que a água possa ser purificada e reutilizada. Logo, é recomendada a instalação destes separadores, somente quando no local exista um bom tratamento de efluentes.

Os ciclones são separadores inerciais, que separam o particulado pela força centrífuga, são fáceis de construir, muito baratos, não exigem muita tecnologia e não necessitam de manutenção, porém, a eficiência de separação são muito baixas, em torno de 85 a 90 % para partículas acima de 10 microns.

Como exemplo, se o sistema de aspiração, possuir capacidade de coleta de 1000 Kg/hora, considerando-se uma eficiência de 90%, estaremos jogando na atmosfera ou no armazém, cerca de 100 Kg/hora sólidos. Estas partículas, que são inferiores a 5 microns e que não são separadas pelos ciclones, provavelmente serão respiradas pelo homem, com grande probabilidade de entram pelo sistema respiratório, podendo se alojar nos alvéolos pulmonares. Além disto, estas minúsculas partículas, provavelmente voltarão a se depositar nos mais variados locais, formando uma excelente camada de pó, em condições favoráveis para promoverem incêndios e explosões.

Os filtros de mangas são classificados normalmente em dois grandes grupos. Os filtros com entrada dos gases de dentro para fora das mangas e os filtros com entrada dos gases de fora para dentro das mangas.

O primeiro, é mais usado quando a limpeza das mangas é executada manualmente e normalmente executada com o sistema parado. Logo, os filtros com entrada dos gases por fora das mangas, são os mais usados, principalmente pela facilidade de limpeza em funcionamento e por serem dotados de sistemas automáticos.

Além da concepção do tipo de entrada dos gases pelas mangas, existem três tipos básicos de limpeza.

- Sacudimento por vibração – são pouco usados, pois, o sistema de sacudimento e ou vibração necessitam de muita manutenção.

- Reversão de fluxo de ar – possuem um excelente sistema de limpeza, são filtros mais caros, necessitam de manutenção periódica além de um sistema especial para limpeza, como ventiladores, compressores de baixa pressão e outros.

- Limpeza por ar comprimido ou os pulse-jet - são os mais usados atualmente. Os filtros pulse jet, alcançam uma eficiência de até 99,9%. O princípio de funcionamento é muito simples. Os poluentes entram por baixo do corpo do filtro e ficam retidos nas mangas pelo lado de fora. Um pulso de ar comprimido, acionado por um seqüenciador eletrônico programado, injeta certa quantidade de ar com alta pressão, que associado ao choque mais o ar descendente, o pó se desprende das mangas, caindo por gravidade no fundo da moega do filtro. Filtros pulse-jet instalados em moegas.

As medidas de ventilação local exaustora nos processos de geração de pó evitam que o pó se disperse no ambiente formando depósitos indesejáveis sobre estruturas, tubulações e muitos outros locais de difícil acesso, porém com enorme potencial de incêndio e explosões.

Deve ser realizado um levantamento físico do local da instalação dos equipamentos objeto do sistema exaustor local, catálogo das máquinas envolvidas, local de fixação dos dutos de aspiração, local do equipamento de separação. Um bom captor é aquele que consegue aspirar o máximo de substâncias, com a menor vazão de ar, pois isto implica no tamanho do equipamento, potência absorvida e tamanho dos dutos de transporte, porém importante que capture o máximo de substâncias indesejáveis. Deve também ser projetado para não prejudicar a operação, manutenção e visibilidade do operador.

A tubulação condutora do ar dos pontos ao sistema de separação deve ser bem dimensionada, para que não haja depósitos de material ao longo da mesma, nem que haja formação de eletricidade estática. Deve ser provida de janelas de segurança e portas de inspeção. As velocidades de controle devem ser bem definidas para não usar potência em demasia, nem tão baixas que impliquem na ocupação de grandes áreas.

Deve ser resistente aos esforços mecânicos das pressões envolvidas, dilatações, aterramento, etc. Os equipamentos de separação e o destino dos resíduos deverão atender às normas de emissões externas, conforme legislações pertinentes.

A ventilação em locais confinados, consiste na movimentação do ar em quantidades calculadas a fim de melhorar as condições do ambiente, controlando as concentrações de gases, vapores, partículas em suspensão, calor gerado pelos equipamentos e em certos casos, também a umidade.

Recomenda-se, quando não for possível por meios naturais, a renovação de ar nos poços de elevadores, túneis, armazéns graneleiros e principalmente nas casas de comando e locais onde podem provocar faíscas. Neste último caso, um bom sistema de pressurização, garante um ambiente limpo, sem riscos de explosões e incêndios.

Em alternativa aos sistemas centrais de aspiração, existem os filtros de cartuchos compactos, ideais para colocação sobre silos, trocas de correias, chutes, balanças e outros pontos de emanação de pó onde são necessários e impossível a colocação de sistemas centrais de aspiração. A grande vantagem deste equipamento é a aspiração do poluente e a descarga a ser executada diretamente no ponto de geração do pó, tornando desnecessária a utilização de outros equipamentos à distância como filtros centrais, ventiladores e as tubulações de união de grandes percursos. Estas reduzidas dimensões dos filtros compactos são conseguidas graças à colocação de cartuchos plissados de poliéster de alto rendimento que substituem dezenas de mangas convencionais.



Figura 14 - Filtros pontuais compactos
Fonte: Disponível em: www.safetyguard.com.br

5.1.12 Emprego de corpos inertes

As explosões de poeiras podem ser prevenidas com o emprego de gases ou poeiras inertes, os quais reduzem a concentração de oxigênio no interior do prédio, de maneira que não haja propagação de chama através da nuvem de pó. O gás inerte é eficaz na prevenção das explosões de pós, uma vez que dilui o O_2 a uma concentração muito baixa.

Dois tipos são conhecidos: os frágeis e os pressurizados.

- Frágeis: são constituídos por depósitos de fina parede no qual se introduz uma carga explosiva, que é detonada pelo sensor. Como o recipiente não é pressurizado, é a carga explosiva que rompe as paredes e expande a carga supressora;
- Pressurizados: extintores de grande velocidade de descarga contêm agente supressor sob pressão de Nitrogênio. A abertura é por carga explosiva, é mais lento que o frágil, porém adequado para pressões médias ou lentas.

Algumas vantagens deste processo: a explosão pode ser evitada; a atmosfera inerte pode ser empregada para controle e extinção de incêndios que podem se desenvolver na poeira; pode ser usado onde o método de ventilação é ineficiente.

Algumas desvantagens: rígido controle para a manutenção da composição do gás e dos sensores e custo mais elevado do que para implantação do sistema de ventilação local exaustora. Ao se pensar em adotar tal processo a instalações que trabalham com produtos alimentícios para consumo humano ou animal, deve-se levar

em conta que obrigatoriamente o gás inerte deve ser atóxico e não pode ser cancerígeno. (SÁ, 1997, 1998; SCHUTH, 2000; SILVA, 1999; WEBER, 2003).

5.1.13 Sistemas de isolamento de tubulações às explosões

O conceito de isolamento de explosão é para prevenir a propagação de chamas através de dutos, isolando o equipamento onde ocorreu a explosão. Isto evita que outras partes do processo, bem como outros equipamentos, sejam afetados por uma explosão.

O isolamento garante também, a segurança das pessoas que trabalham ao longo do processo. Em outras palavras, o sistema de isolamento minimiza os efeitos desastrosos no caso de um evento de explosão.

Uma válvula de isolamento foi projetada para agir em menos de 10 ms do momento da detecção da explosão. A válvula de isolamento é acionada através de sensores de explosão.

É fato que as explosões podem propagar-se através de tubos e de outros processos de ligações. Mesmo quando depósitos individuais encontram-se protegidos contra explosões ou outros meios, há o perigo potencial de chamas a altas pressões se propagarem para o interior de outras áreas resultando em labaredas de chamas e explosões com grandes conseqüências. O sistema comanda as funções de detecção e controle iniciando o fechamento de uma válvula especial em milionésimos de segundo e bloqueia o percurso potencial de propagação de chamas.

Algumas empresas que atuam na área de proteção contra explosões desenvolveram válvulas de isolamento de explosões tipo conduto, especialmente concebidas para estas necessidades. O equipamento é composto ainda por um atuador pneumático e um reservatório de nitrogênio pressurizado, projetados para atuação da válvula em milionésimos de segundo. (FIKE CORPORATION, 2001).



Figura 15 – Válvulas de isolamento de explosão
Fonte: Fike Metal Products. Disponível em: www.fike.com.br

5.1.14. Proteção contra explosão em elevadores

O elevador de cereais é um equipamento com um potencial de risco muito grande a explosões em seu interior, devido a faíscas ocasionadas pelo contato entre partes metálicas.

Para minimizar o problema, algumas empresas instalam em seus equipamentos de elevação aberturas na cabeça do elevador e cobrem-nas apenas com um cone tipo chapéu chinês. É uma solução paliativa, pois, se torna então o ponto fraco do equipamento e evita o rompimento em outras partes; porém, não evita que, ao ocorrer uma explosão, as chamas (e o pó em chamas) se dispersem para o exterior

do equipamento e se dissipem para outros pontos críticos da planta fabril.

Alguns fabricantes de equipamentos de segurança do exterior (principalmente da Alemanha, Holanda e EUA) desenvolveram sistemas para a supressão de explosões em elevadores metálicos de cereais, se bem que o sistema pode também ser adaptado a outros equipamentos fechados de transporte.

O equipamento se destina justamente a equipamentos fechados. Basicamente é um dispositivo instalado em um ponto ou mais do equipamento e, no caso de um princípio de explosão em seu interior, sua função é evitar a propagação de chamas para o exterior, reter o pó em chamas do interior, além de minimizar as pressões de detonação e o perigo de afetar outros equipamentos próximos. Assim, conforme o grau de pressões a que o sistema foi exposto numa explosão interna, é totalmente reaproveitável, bastando uma simples limpeza ou troca de alguns discos de ruptura internos. (FIKE CORPORATION, 2001; REMBE, 2004).

5.1.15. Discos ou janelas de ruptura (sopros)

Data dos anos quarenta, a utilização do alívio de explosão usada para prover proteção de explosão em minas de carvão. Nos meados dos anos 1960, com novos processos industriais, como a adição de equipamentos de coleção de pó, a indústria olhou a explosão que frequentemente ocorria como um novo desafio a ser superado.

O alívio de explosão contra elevação de pressão interna de um equipamento, provendo um caminho planejado para o lado externo para os gases que se expandem durante o processo pré-explosão e explosão, sem danificar o equipamento.

A abertura da janela deve ser classificada segundo um tamanho para permitir aliviar os gases que se expandem a uma taxa rápida para limitar o desenvolvimento interno de pressão.

Hoje, a diretriz mais amplamente aceita para alívio de explosão é o NPFA 68 da Associação de Proteção de Fogo Nacional (EUA), e, na Europa, o VDI 3673 Alemão.

Há muitas variáveis a ser consideradas ao classificar o tamanho de áreas de alívio para alívio de explosão.

Algumas empresas desenvolveram também dispositivos a serem instalados

nas paredes de silos ou em dutos de transporte. São os discos ou tampos de ruptura (alguns fabricantes chamam de janelas de explosão, sopro, ou bursting discs), de várias formas, tamanhos e podem ser feitos de vários materiais. Trata-se de um sistema usado para a descarga da pressão explosiva através de janelas e é provavelmente a mais usada e conhecida medida de proteção utilizada para controlar os efeitos de uma explosão num complexo industrial, devido à sua natureza passiva. O sopro da explosão é destinado a evitar a destruição de um compartimento fechado devido à condição de sobrepressões causadas por uma explosão.

O sistema é composto por membranas de ruptura que fornecem uma área prognosticável de alívio para uma pressão específica. Assim sendo, a janela rompe a uma pressão predeterminada e, como está (ou estão) instalado(s) em ponto(s) estratégico(s) do silo, ao ocorrerem pressões provenientes do início de uma explosão no interior do silo, ocorre o alívio dessa pressão direcionada para pontos seguros do layout da instalação. São projetados para eliminar os riscos de fragmentação e possuem tempos de resposta extremamente rápidos. (FIKE METAL PRODUCTS, 1997; REMBE, 2004).



Figura 16 - Discos ou janelas de ruptura

Fonte: Disponível em: www.fike.com.br

5.1.16. Instalações e equipamentos elétricos

A proteção contra explosão em instalações e equipamentos elétricos é um assunto extenso, sujeito as muitas normas impostas pelas várias entidades normatizadoras e órgãos governamentais de vários países. Somente equipamento protegido contra explosão pode ser usado em áreas nas quais uma atmosfera explosiva, perigosa, pode ser esperada, apesar da implementação de medidas primárias de proteção contra explosão.

Um equipamento elétrico protegido contra explosão pode ter vários tipos de proteção conforme as regras de construção normatizadas. O tipo de proteção usado pelo fabricante de aparelhos depende essencialmente do tipo e da função do aparelho. A blindagem é o procedimento mais usual e comprovadamente seguro.

Luminárias modernas, protegidas contra explosão, também usam uma combinação de vários tipos de proteção para alcançarem os melhores resultados com respeito à segurança, função e economia. Pelo sistema de blindagem do aparelho, qualquer explosão que venha a ocorrer em seu interior não deverá apresentar risco para o ambiente. Geralmente são fabricados com o corpo e grade de alumínio fundido e o refrator prismático ou liso de vidro boro silicato.

Os equipamentos devem ser mantidos numa condição adequada para manutenção e inspeção regulares. Para tomadas e plugues instalados em atmosferas explosivas, a inserção e a extração do plugue só deverá ser feita com a tomada desenergizada. (R. STAHL SCHALTGERÄTE GMBH; R. STAHL FÖRDERTECHNIK GMBH, 1999).

5.1.17 Estática e faísca em sistemas de coleta de pó

As estatísticas mostram que os sistemas de coleta de pó (isto é, exaustores coletores de poeira, filtros de manga, ciclones, precipitadores, câmaras inerciais, etc.) estão envolvidos na segunda mais alta porcentagem de explosões por poeira que ocorrem por todas as indústrias, incluindo as fábricas de rações e unidades de recepção, secagem e armazenagem de grãos. A prevalência de explosões por poeira em unidades de coleta de pó pode ser devido ao fato de que os riscos apresentados pela poeira manipulada não são completamente compreendidos ou que as medidas de controle protetor e preventivo contra explosão são insuficientes ou ausentes.

Devido à natureza inerente dos sistemas de coleta de pó, é prudente supor que essa atmosfera inflamável ocorre freqüentemente. O uso de sistemas de vibração mecânica ou unidades de pulso-jato ou jato reverso para desalojar o pó entranhado nos filtros aumenta a freqüência de geração de nuvens de poeira inflamável dentro das unidades. Um risco adicional é que o pó dentro dos coletores de pó é geralmente mais fino do processo, que pode resultar num aumento potencial na sensibilidade de

ignição e na severidade de explosão. Se uma fonte de ignição estivesse presente simultaneamente com a atmosfera inflamável, um incêndio e/ou explosão poderiam resultar.

Em operações de coleta de pó, várias fontes de ignição diferentes poderiam estar presentes:

- Faíscas de fricção e impacto, que podem resultar de objetos estranhos que entram no mecanismo conduto para transporte de fluxo contrário do coletor de pó;
- Acumulação de camadas de pó, que pode resultar em decomposição exotérmica de substâncias auto aquecedoras excedentes, se o coletor de pó está servindo numa operação que envolve aquecimento do pó, tal como secagem;
- Transferência de material de combustão lenta sem chama, de itens de maquinaria conectados, durante operações normais, tais como moagem, secagem, etc.;
- Transferência de faíscas ou materiais de combustão lenta sem chama durante operações incomuns, tais como operações de manutenção e de solda;
- Faíscas ou superfícies quentes de equipamentos mecânicos elétricos no sistema de coleta de pó, tais como ventiladores;
- Geração de carga eletrostática, que pode levar a descargas incendiárias (por exemplo, instalações de filtros elevados isoladas do solo).

Explosões por poeira que ocorrem em unidades de coleta de pó não protegidos contra explosão ou onde a proteção contra explosão é insuficiente podem ser extremamente destrutivas. A pressão máxima de explosão gerada é geralmente muitas vezes mais alta do que a resistência de projeto da maior parte das unidades de coleta de poeira e condutos. Se nenhuma medida de isolamento for realizada, a propagação da explosão ocorrerá através do mecanismo conduto interconectado de volta para as áreas da aparelhagem e equipamentos, ampliando potencialmente o poder destrutivo. A chave para determinar se a sua operação está em risco é ter uma compreensão das características de estabilidade térmica, explosão e incêndio de sua poeira. As precauções gerais contra riscos de descarga eletrostática incluem o seguinte:

- Vinculação e Aterramento: descargas de faíscas podem ser evitadas pelo aterramento elétrico de todos os itens condutivos, tais como o coletor de pó, os

condutores de produto, a cabine de metal que sustenta os filtros de manga e dos recipientes, equipamentos de fluxo e dos componentes eletro-mecânicos. Evitando o uso de Materiais Isolantes: Onde existem processos de carga alta de superfície, materiais não condutores não deveriam ser usados. Exemplos de objetos não condutores incluem canos de plástico, mangueiras, containeres, sacos e coberturas de filtro de manga. Em esteiras transportadoras e correias de elevadores devem ser empregados materiais que possuam resistividade adequada de modo a serem condutores de cargas estáticas ao terra;

- Redução de Carga por Umedecimento: Alta umidade relativa pode reduzir a resistividade de algumas poeiras e aumentar o alcance de declínio de carga de poeira acumulada em recipientes de metal aterrado. No entanto, na maioria dos casos, isso somente será efetivo se a umidade relativa em excesso de 65% for mantida. Obviamente que vários setores das indústrias que trabalham com grãos e farelos não poderão usar esse artifício, visto a obrigatoriedade de se trabalhar (ou armazenar) o produto com umidades muito baixas de até 14%;
- Redução de Carga por Ionização: Ionização localizada de sondas condutoras, aterradas, pode em ocasiões ser usada para reduzir o nível de carga eletrostática de partículas de pó que entram no coletor de pó. Dispositivos de ionização eletrostática não são, no entanto, isentos de problemas e devem somente ser usados após consultar o parecer de um perito. (EBADAT, 2003).

5.1.18. Óleo mineral

Segundo (Associação Nacional de Grãos e alimentos –Relatório sobre o uso de Aditivos para o Controle do nível de pó nos Grãos) Desenvolvido e utilizado nos EUA. Consiste na adição de água, óleo de soja desodorizado ou óleo mineral como aditivo no controle do pó nas operações de manuseio de cereal.

As dosagens são de 0,03 a 0,10 % de peso de óleo aplicados em pontos estratégicos da unidade ou 0,17 a 0,30 % de água. A eficácia dos aditivos oleosos tem sido de três meses e a água de um mês.

A redução da emissão do pó tem sido verificada e no caso de aditivos oleosos chega a 90 %.O sistema consiste na instalação de pulverizadores nos pontos de

entrada dos grãos na unidade armazenadora.

O óleo mineral branco, quando misturado aos grãos, altera as propriedades do pó e favorecendo o aglomeramento entre si e os grãos. Instala-se aspersores de óleo mineral em pontos do sistema de movimentação de grãos passíveis de ocorrência de alta concentração de pó, em valores superiores a 0,05 kg/m³. A utilização do óleo mineral branco reduz o pó respirável em até 95% e o pó total em até 75%, quando obedecidos todos os parâmetros técnicos de aplicação. (WEBER, 2003).

A adição de óleo mineral, entretanto, tem alguns aspectos negativos, entre eles:

- É um processo caro e, obviamente, esse custo será agregado ao valor do produto, tornando o processo muitas vezes inviável economicamente, fazendo os técnicos e proprietários buscarem soluções alternativas mais baratas.
- Existem restrições quanto à comercialização internacional dos cereais tratados com esses aditivos.

5.2 Aspectos Construtivos

Como aspectos técnicos construtivos recomendam-se, a observância dos seguintes cuidados quando da elaboração e implantação de projetos de unidades armazenadoras:

- Dotar os ambientes como túneis, galerias e pontos de carga e descarga de grãos com sistemas de captação de pó;
- Instalar sistema de captação de pó em elevadores caçambas e tubulações de transporte de grãos;
- Proceder o aterramento elétrico dos componentes eletro-mecânicos e pontos geradores de cargas eletrostáticas;
- Projetar edificações que estruturalmente contemplem áreas de fácil ruptura caso ocorram explosões, isto minimizará danos a edificação, pois os gases em expansão serão lançados à atmosfera;
- Instalar sistemas de pára-raios;
- Instalar aspersores de óleo mineral em pontos do sistema de movimentação

de grão passíveis de ocorrência de alta concentração de pó - valores superiores a 0,05 kg/m³;

- Projetar sistemas de iluminação apropriados aos ambientes com risco de explosão.

Entretanto, deve-se ter em mente que, na importante fase de projeto da implantação de uma unidade fabril já se contemplem processos, métodos e um layout que beneficiem a segurança a explosões por pó. Isto é benéfico também aos equipamentos a serem instalados em tal planta, podendo até dispensá-los da instalação de alguns sistemas de proteção, o qual é sabido frequentemente têm custo elevado, tanto na aquisição quanto no uso e sua manutenção.

A dispensa de equipamentos de proteção, ressalte-se, é um fator muito relativo (cada caso é um caso) e demanda muitos estudos preliminares, face os riscos a que equipamentos e, principalmente, pessoas eventualmente se expõem.

Como aspectos técnicos construtivos recomenda-se a observância dos seguintes cuidados quando da elaboração e implantação de projetos de unidades armazenadoras de grãos e fábricas de rações.

5.2.1. Áreas de ruptura planejada nas edificações

Segundo Weber (2003): “Projetar edificações que estruturalmente contemplem áreas de fácil ruptura, assim, caso ocorram explosões, isto minimizará danos ao resto da edificação, pois os gases em expansão serão lançados para a atmosfera”.

Uma explosão de pó pode gerar pressões na ordem de até 7 kg/cm² em recintos fechados como em linhas de transporte pneumático, redlers, silos, roscas transportadoras, etc. Para evitar danos maiores, estes elementos devem prover válvulas de alívio, contra aumento de pressões. Um recinto fabril raramente resistiria a tal pressão.

As pressões de ruptura das edificações são em torno de 0,2 kg/cm². Portanto, devem ter telhados, aberturas, portas e outros itens de resistência inferior às da construção, sob pena de haver perdas totais em eventos de explosão por pó. (SÁ, 1997). Projetar também sistemas e aberturas de ventilação por venezianas para

minimizar o efeito de ambiente confinado.

5.2.2 Projeto de sistemas de coleta de pó e renovação do ar

Dotar os ambientes como túneis, galerias e pontos de carga e descarga de grãos com sistemas de captação de pó e renovação de ar. Medidas devem ser observadas no sentido de se adequar um eficiente sistema exaustor para os locais onde haja formação de pó.

Estas medidas, quando tomadas na fase do projeto são as que melhor satisfazem, além de minimizar o custo de implantação, pois evitam arranjos improvisados e pouco eficientes. Entretanto, em uma planta existente, um bom projetista poderá com bom senso conciliar sistemas seguros. Como fonte permanente de eletricidade estática, sistemas de aspiração, ciclones e filtros demandam construção e localização adequadas.

O destino dos pós capturados devem ser objeto de estudo entre a empresa e o projetista em função de seu aproveitamento ou descarte. É importante também nesta fase conciliar o problema das emissões, após o tratamento, pois estes, quando não atendam aos padrões legais, poderão ser objeto de demandas judiciais, pela comunidade vizinha às instalações. (SÁ, 1997).

5.2.3. Dimensionamento de sistemas de aterramento elétrico

Projetar o aterramento elétrico dos componentes eletro-mecânicos e pontos geradores de cargas eletrostática; ligações equipotenciais devem abranger todas as estruturas metálicas da instalação à malha de aterramento, da descarga atmosférica e dos condutores neutros; todos devem estar interligados. Projetar também sistemas de pára-raios.

5.2.4. Sistemas elétricos

Quanto a equipamentos elétricos, a questão de possíveis riscos de explosão deve ser endereçada aos primeiros estágios de planejamento de uma nova instalação.

Ao classificar-se áreas potencialmente explosivas, a influência da ventilação natural ou artificial deve ser considerada em adição aos níveis de materiais inflamáveis a serem liberados.

O equipamento elétrico deve ser selecionado e instalado de modo que esteja protegido contra influências externas que podem afetar adversamente a proteção contra explosão. Devido ao risco de incêndio em transformadores de potência, as subestações devem estar situadas fora das áreas classificadas como atmosferas explosivas. (R. STAHL SCHALTGERÄTE GMBH; R. STAHL FÖRDERTECHNIK GMBH, 1999).

5.2.5. Compartimentação das construções

Projetar as áreas de armazenamento separadas das demais áreas (produção, manutenção, escritórios, etc.) por paredes resistentes ao fogo. Baseado na experiência verificada por acidentes ocorridos em várias partes do planeta, evitar a adoção de sistemas construtivos que induzem à formação de ambientes confinados e transferência de riscos de explosão a outros setores.

Há algumas instalações que são mais suscetíveis de sofrerem acidentes por explosão de pó. As instalações são geralmente compostas por baterias de silos, possuindo no alto destes um equipamento transportador para seu carregamento; na extremidade há uma torre contendo o elevador de cereais que alimenta o equipamento de transporte horizontal.

Observa-se que, tanto o transportador quanto o elevador estão em ambientes confinados por paredes e cobertura, podendo ser feitas de alvenaria e concreto ou metálicas, tornando esses locais suscetíveis à formação de pó e, se o sistema de exaustão não for bem dimensionado, o pó poderá se acumular em quantidades perigosas.

Um princípio de explosão que pode se originar no elevador se ocorrer uma faísca com energia calorífica suficiente para causar a detonação e se a quantidade de pó em suspensão é o suficiente para tornar o ambiente de risco. Esta é a explosão primária, com temperaturas que podem ser acima de 2000 °C. Não precisa nem haver poeira em suspensão nos outros setores, bastando existir material fino depositado em

cima dos equipamentos de transporte ou pó nas camadas superiores dos silos.

Como existe comunicação por ambientes confinados a outros setores da instalação, a primeira deflagração gera ondas de pressão que levantarão essa poeira depositada nos outros ambientes, gerando explosões secundárias e destruindo o complexo muitas vezes quase por completo.

Sendo assim, aconselha-se neste caso instalar os equipamentos de transporte (elevadores e transportadores horizontais) externamente ao prédio. É certo que a durabilidade de um equipamento metálico tende a ser menor quando exposto ao tempo – nesse caso deve se investir em equipamentos galvanizados, o máximo possível de componentes de alumínio e/ou usar pinturas especiais à base de epóxi. Só o fato de ter-se os efeitos de uma explosão secundária minimizados já compensam os investimentos maiores. Sempre que possível instalar os equipamentos de transporte horizontal em posição inclinada, de forma a acumular menos pó em suas superfícies. (PÓ MORTAL, [entre 1970 e 1980]).

A compartimentação de armazéns de grandes dimensões ou entre armazéns contíguos, com paredes e tetos corta-fogo e/ou ainda guardando-se as devidas distâncias um do outro (isto válido também para as construções com outras finalidades no pátio industrial), constitui uma das mais importantes medidas de prevenção de sinistros de incêndio e, conseqüentemente, de acidentes por explosão de pó.

Define-se um setor de incêndio como sendo a parte de um edifício ou grupo de edifícios que estão separados por paredes e/ou pisos resistentes ao fogo. Tanto a área do setor de incêndios como o tempo de resistência ao fogo de seus elementos compartimentadores, assim como a estabilidade ao fogo da estrutura de sustentação e sustentada, dependem do nível de risco do armazém.

Ademais, não há nenhuma norma específica para o dimensionamento de construções à prova de explosão por pó. Entretanto, como importantes instrumentos de ajuda ao projeto de novas instalações, maiores esclarecimentos podem ser obtidos nas seguintes normas técnicas: NBR 5418/1995, NBR 5627/1980, NBR 5628/1980, NBR 6118, NBR 6120/1980, NBR 6479/1992, NBR 8681/1984, NBR 8800/1986, NBR 9062/1985, NBR 9077/1993, NBR 10636/1989, NBR 11711/1992, NBR 11742/1992, NBR 14323/1999, NBR 5418, NBR 5419. (ABNT, 1995).

5.2.6 Outros sistemas

Além das medidas apresentadas, existem ainda algumas soluções nacionais, para sistemas singulares, como os que se seguem:

Um Engenheiro Agrônomo paranaense, Ruy Skroch de Andrade, patenteou um novo sistema de ventilação em silos (PI 0300223-3 de 7/2/2003), com o objetivo de reduzir a possibilidade da ocorrência de explosões em silos e manter em um nível baixo o teor de umidade dos grãos. O sistema de ventilação criado por Andrade se resume em dois anéis externos com quatro tubos de alumínio flexível cada. Estes tubos que possuem vários orifícios que ligam o exterior ao interior - são ligados a dois exaustores que puxam o ar do silo para os filtros. Este pó passa pelos filtros e vai para um depósito. O pó pode ser reaproveitado como complemento para ração ou voltar para o solo como adubo. (CREA-PR, 2005).

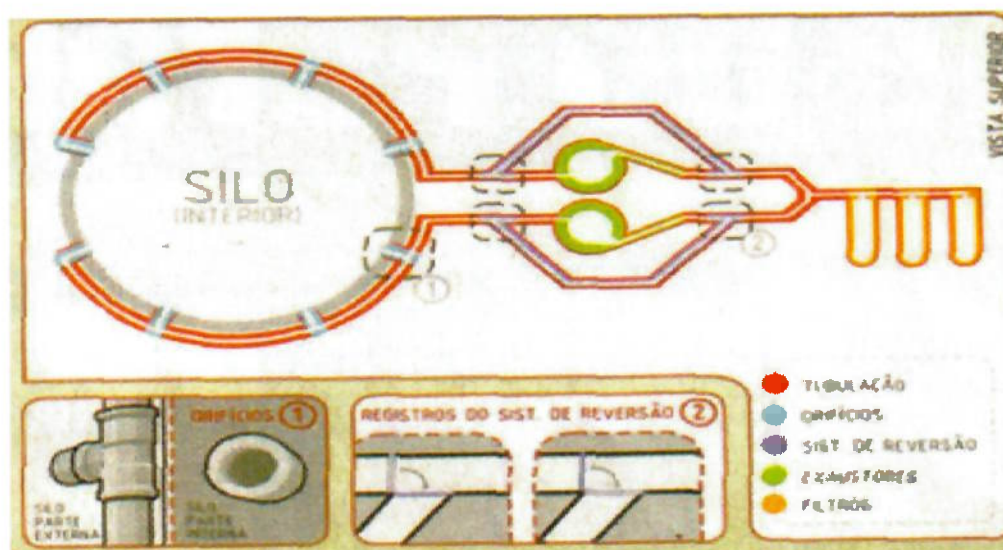


Figura 17 – Sistema de ventilação em silos

Fonte: CREA/PR (2005, p. 26-27).

Uma empresa brasileira criou um sistema, batizado de DustControl, utiliza um sistema simples de controle que mantém o pó com os grãos. Ele oferece uma solução para reduzir em até 96% às emissões de pó dentro das moegas de recepção de grãos. As palhetas, cobrindo a moega de recepção, suprimem o pó. Filas de palhetas de aço, instaladas entre 15 e 20 cm abaixo da grade da moega, cobrem e selam a moega inteira.

Quando um caminhão é descarregado, os cilindros, acionados pneumáticamente, abrem somente as palhetas diretamente abaixo do monte de grãos formado pelo despejo da carga. O restante das palhetas, ao longo da moega, permanece na posição fechada. Assim, as palhetas fecham a moega durante a descarga e mantêm a poeira fisicamente junto com os grãos dentro da moega. (ANTARES, 2002).

6 ANÁLISE DE CASO DE UNIDADES DE ARMAZENAGEM DE GRÃOS

6.1 Visita a Unidade de Recebimento, Limpeza, Secagem, Armazenagem e Expedição de Cereais – Sorriso – MT

Foi realizada visita no dia 26 de março de 2007 a uma empresa situada na cidade de Sorriso/MT, a qual autorizou a efetivação de registros fotográficos. Entretanto, as empresas pesquisadas não terão seus nomes divulgados na presente pesquisa. Esta unidade trabalha com soja, arroz, sorgo e milho, sendo este último o seu maior foco comercial.

Essa visita teve como objetivo identificar *in loco* os pontos críticos que podem causar uma explosão em uma unidade que tem como atividade principal o manuseio de cereais. A metodologia empregada para identificar os pontos críticos foi a inspeção visual, registro em fotografias e análise posterior.

6.1.1 Principais problemas encontrados

a) Falta de organização, limpeza e acúmulo de resíduos de produtos (subprodutos da máquina de limpeza) conforme pode ser observado na imagem a seguir:



Figura 18 – Falta de organização e limpeza no espaço físico

b) Falta de limpeza em equipamentos como elevadores de caneca, onde pode-se perceber a grande quantidade de material grudado nas paredes laterais dos elevadores. Outro ponto a ser considerado, consiste no fato das canecas de transporte de produtos serem metálicas, sendo uma possível fonte de ignição devido à formação de fagulhas caso ocorra desalinhamento na correia do elevador, detalhes este que pode ser percebidos na figura 20 a seguir:

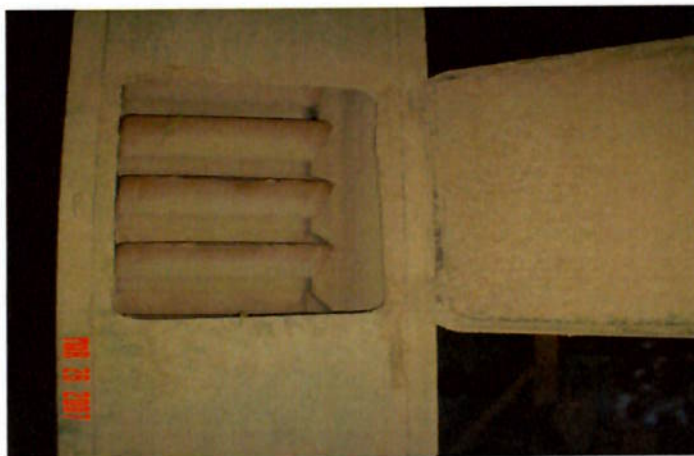


Figura 19 – Falta de limpeza nos equipamentos

c) Ainda, pode-se perceber a falta de limpeza do túnel, com acúmulo de cereal que cai nos pontos de interligação dos equipamentos bem como a deposição de pó no túnel do silo. A imagem a seguir nos mostra esta situação:



Figura 20 – Falta de limpeza no túnel

d) Também foi verificado acúmulo de pó sobre os motores dos transportadores helicoidais (roscas transportadoras). Este acúmulo de pó pode ocasionar o excesso de aquecimento deste motor, representando um possível foco de incêndio, ou mesmo, até o princípio do processo de deflagração de uma explosão dentro do túnel, uma vez que já estão reunidas as demais condições necessárias, como combustível, oxigênio, necessitando somente a fonte de ignição (calor), que no caso poderá ser o superaquecimento do motoredutor. Nas imagens a seguir, pode-se observar esta situação:



Figura 21 – Acúmulo de pó sobre os motores

e) Já em outro túnel de ligação da descarga do silo com o poço do elevador foi observado a falta de proteção das correias de acionamento do motor, podendo isto causar acidentes graves ou até mesmo fatais aos operadores, bem como pode propiciar que material estranho entre em contato com as correias de acionamentos, causando rupturas nas mesmas, deixando o equipamento sem funcionar ou funcionando com sobrecarga, podendo causar aquecimento excessivos no conjunto, e com isto pode haver princípios de incêndio ou conseqüências mais graves. A falta de proteção é observada na imagem a seguir.



Figura 22 – Falta de proteção das correias de acionamento do motor

Em função dos vários pontos observados anteriormente, do tipo de cereal mais utilizado, o milho, pode-se mencionar que esta unidade possui praticamente todos os elementos necessários que poderiam causar uma explosão a partir de pó de cereal. Logicamente, deveria ser analisado as concentrações de pó existente, se estão dentro dos limites de explosividade, mas esta análise não é objeto de estudo deste trabalho.

6.2 Visita a Unidade de Recebimento, Limpeza, Secagem, Armazenagem e Expedição de Cereais – Lucas do Rio Verde - MT

Foi realizada visita no dia 29 de março de 2007, numa empresa situada na cidade de Lucas do Rio Verde o /MT, a qual concordou na visita, tirar fotografias, porém sem ter seu nome divulgado. Esta unidade trabalha com soja e milho somente. As fotos a seguir mostram parcialmente a unidade visitada. A unidade é composta de máquinas de limpeza, secador, silos, elevadores de carga e descarga e tulha de expedição.



Figura 23 - Unidade de Armazenagem – Lucas do Rio Verde – MT

Diferentemente da primeira unidade visitada, esta unidade apresenta um sistema de renovação de ar dos túneis, tanto da moega, como do silo armazenador. Este sistema, apesar de não ter sua eficácia comprovada através de pesquisas, mas pode-se perceber, como nas imagens a seguir, que praticamente elimina toda a poeira dentro do túnel do silo durante a operação de descarga do mesmo.



Figura 24 – Túnel livre de poeira

O sistema consiste em colocar um exaustor na extremidade externa do túnel, que possua potencia necessária para fazer a renovação do ar de todo túnel, além de retirar poeiras e algumas partículas. Observa-se que nesta unidade, o ar, juntamente com as partículas, retirada do interior do túnel é liberado diretamente para o

ambiente externo, não passando por nenhum sistema coletor.

Na imagem a seguir, observa-se o sistema instalado na saída do túnel que fica embaixo do silo armazenador.



Figura 25 – Saída do exaustor do túnel do silo

Já nesta outra imagem, o exaustor encontra-se instalado no final do túnel do silo pulmão, que é interligado com a moega e poço do elevador central.



Figura 26 – Exaustor do final do túnel silo pulmão e moega

Também nesta unidade o secador é provido com um sistema de captação de partículas e poeiras. Este sistema é instalado na saída de ar do secador, localizado acima dos exaustores. O sistema é interligado por tubulação e por um exaustor/ventilador, que succiona as partículas captadas nas telas de contenção e envia para a fornalha, onde ocorre a queima das partículas. Na imagem abaixo, pode-se observar o ventilador/exaustor e parte da canalização interligada com a fornalha.



Figura 27 – ventilador/exaustor

Apesar da eficiência deste sistema ser maior para partículas com diâmetro maior, a grande vantagem deste sistema é que praticamente elimina em 100% a emissão de partículas para o meio ambiente, principalmente no caso do milho, contribuindo para a limpeza da unidade, bem como protegendo moradores circunvizinhos dos problemas das partículas e poeira.

6.3 Outros Problemas Encontrados nas Unidades Visitadas

- Falta de manutenção preventiva nos equipamentos, onde a empresa só se preocupa em fazer a manutenção quando o equipamento quebra;
- Total desconhecimento, tanto dos empregadores e empregado, quanto a possibilidade de explosão de pó;
- Falta de manutenção elétrica, onde verificado que há troca de lâmpadas adequadas para área classificada, por lâmpada incandescente comum;
- Falta de treinamento e conhecimentos dos operadores quanto à operação correta dos equipamentos. Com isto, os equipamentos não funcionam adequadamente, não realizando uma limpeza e secagem eficiente dos grãos e como consequência, tem-se maior quantidade de pó acumulada no armazém e ainda dificuldade na manutenção do produto estocado quanto ao aspecto de qualidade da massa de grãos;

- Ainda, outro problema grave encontrado, é a falta de cumprimento das demais normas de saúde e segurança no trabalho, onde os trabalhadores estão expostos a ruído sem a devida proteção, escadas e passarelas sem a colocação de cabo vida e guarda corpo, falta de uso de máscara adequada ao risco que os trabalhadores estão expostos.

6.4 Melhorias Sugeridas

- Em função dos diversos problemas encontrados, está sendo sugerido, primeiramente neste trabalho, e depois será repassado as empresas visitas, as seguintes melhorias:
 - A adoção de um sistema de limpeza de toda a instalação, baseado na metodologia do house keeping, onde haveria a limpeza de todos os excessos de cereais em tempos pré-determinados, variando conforme a época do ano, e em função do volume de cereal beneficiado. Nas fotos a seguir podemos verificar a diferença em empresa que utiliza um método de limpeza, mesmo não sendo um modelo escrito, mas o fato da limpeza ser feito periodicamente, já elimina a concentração de pó, eliminando desta forma boa parte do combustível de uma explosão, reduzindo a probabilidade de ocorrência de acidente envolvendo explosão.



Figura 28 – Empresa sem limpeza



Figura 29 – Empresa que faz limpeza

- Realizar manutenção preventiva, tanto mecânica como elétrica;
- Melhorar o sistema de limpeza do produto, através de regulagem mais eficiente das máquinas de pré-limpeza, além de dar um destino adequado aos resíduos;
- Implantar um sistema de captação de pó em túneis, moegas e poços de elevadores. Na imagem a seguir, podemos observar a diferença entre uma moega com sistema de captação de pó instalada e outra não instalada.



Figura 30 – Moega sem captação de pó



Figura 31 – Moega com captação de pó

Fonte: www.atares.eng.br/dustcontrol.asp

- Adotar sistema de renovação de ar nos túneis e poços para evitar o acúmulo de gases, que podem fazer vítimas fatais caso não haja controle.

7 CONCLUSÕES

Através da realização da presente pesquisa houve a possibilidade de se obter conhecimentos mais aprofundados sobre tema. Cabe ressaltar, que os acidentes ocasionados pelo acúmulo de pó em silos e armazéns é um problema presente, porém pouco estudado em nosso país.

De acordo com os estudos realizados, a bibliografia disponível mostra claramente a existência desse problema, que talvez, pela falta de uma cultura organizacional e de estudos aprofundados sobre o tema, apresenta riscos constantes nos locais de trabalho pesquisados.

Com as leituras realizadas para a construção do referencial teórico, pôde-se perceber que alguns pesquisadores já iniciaram estudos sobre o assunto, porém de maneira isolada. Contudo, o progresso dessas pesquisas é fundamental para que se desenvolva uma base sólida que permita desencadear um processo de conscientização e formalização de normas para a segurança em unidades armazenadoras de grãos cereais.

Outrossim, observou-se que, a legislação que trata da matéria ainda é escassa e não apresenta especificidade para o assunto.

As visitas às unidades pesquisadas propiciaram um contato aproximado com a realidade dessas empresas. A observação participante, proporcionada pelo estudo exploratório, não só ofereceu a possibilidade da avaliação *in loc*, da realidade dessas empresas, como mostrou a diferença no tratamento que é dado por cada uma delas aos resíduos provenientes de suas atividades.

A primeira empresa pesquisada, no município de Sorriso – MT, demonstrou não se preocupar com a higienização de seus processos, como foi comprovado através das imagens que mostraram um ambiente propício à ocorrência de acidentes, principalmente, de explosões.

Na segunda unidade visitada pôde-se perceber uma diferença gritante em relação à primeira empresa visitada. Observou-se a preocupação com a limpeza em seu processo produtivo, conforme as imagens registradas no local.

Um aspecto importante a ser ressaltado é que em ambas as unidades pesquisadas não havia o menor conhecimento sobre explosão de pó. Isso só pode ser

observado naquelas empresas que sofrem influência internacional.

Cabe aqui algumas sugestões de melhorias que poderiam ser adotadas, que certamente, estaria reduzindo a probabilidade de ocorrências de explosões a níveis bastante baixos. São medidas simples, facilmente implantadas, com custo baixo comparado com o investimento inicial das instalações, porém tem resultados muito significativo.

A adoção de um sistema de limpeza de toda a instalação, baseado na metodologia do house keeping é recomendado. Haveria a limpeza de todos os excessos de cereais em tempos pré-determinados, variando conforme a época do ano, em função do volume de cereal beneficiado.

Realizar a instalação de sistemas de captação de pó em todos os elevadores, transportadores horizontais, moegas, poços e túneis e proceder com a eliminação dos resíduos provenientes das máquinas de limpeza, colocando-os em local apropriado, evitando que o pó seja espalhado pela unidade.

Finalmente, promover a renovação do ar dentro dos túneis dos silo, como forma de evitar o acúmulo de poeira em suspensão no ar, poeiras estas que depois irão se depositar no fundo do túnel e que poderão novamente ser colocadas em suspensão caso ocorra alguma explosão primária, podendo ainda se houver condições adequadas, dar início a uma séria de explosões secundárias.

Assim, conclui-se a presente pesquisa enfatizando-se que não há ainda em nossa cultura os conhecimentos necessários acerca do perigo existente, que entretanto, continua fazendo vítimas e não sendo amplamente divulgado. A ampliação de nossos horizontes agrícolas é uma realidade crescente, portanto a busca por conhecimento a respeito do assunto deve ser incessante pois, à medida que o tempo passa, descobre-se novos fatos, dados e particularidades sobre a explosão de pó, suas causas e conseqüências. Há ainda, muito que se pesquisar sobre o assunto.

Observa-se a necessidade de divulgação acerca dos perigos aqui apresentados a todos os trabalhadores envolvidos nesses processos produtivos, no intuito de contribuir para a prevenção de acidentes fatais, danos materiais, e, principalmente, para o progresso da Segurança do Trabalho no Brasil.

Durante a realização deste trabalho, tivemos contato com apresentador de TV local, em Sorriso, que realiza um programa semanal sobre a realidade do campo e

armazéns da região. Este mostrou grande interesse em estar realizando uma reportagem sobre o tema abordado neste trabalho, como forma de alertar os empresários e trabalhadores envolvidos na área sobre a gravidade do problema. Enviamos também, a título de colaboração ao Eng^o Érico Weber esta monografia para que componha parte de seu livro que será lançado em Agosto de 2007.

Esperamos que a presente pesquisa caracterize-se como um marco inicial para pesquisas futuras, mais aprofundadas sobre o tema, que é de grande relevância para a segurança do trabalho agrícola.

LISTA DE REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-5418 – **Instalações Elétricas em Atmosferas Explosivas**: Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, mar. 1995.

ANTARES ENGENHARIA. **DustControl**. 2002. Disponível em: <<http://wingsltda.com.br>>. Acesso em: 31 mar. 2007.

APTS – ASSOCIAÇÃO PAULISTA DOS TÉCNICOS DE SEGURO. **APTS Notícias**. São Paulo: APTS, out./dez. 2002. p. 6-7.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Portaria SIT/DSST N° 86, de 03 de Março de 2005 - DOU de 04 de Março de 2005**. Divulga a Norma Regulamentadora de Segurança e Saúde no Trabalho na Agricultura, Pecuária, Silvicultura, Exploração Florestal e Aquicultura – NR 31. Disponível em: <<http://www.mte.com.br>>. Acesso em: 15 fev. 2007.

CALÇA, José Ricardo Resende . **Explosão de Pós**. Apostila Engenharia de Segurança. Escola Politécnica da USP . 2005

CONGRESS OF UNITED STATES . **Technology and Policy Supressing Grain Dust Explosions in Storage Facilities**. September 1995

CREA-PR . **Poeira inflamável**. N. 34, Maio/Junho 2005.

EBADAT, Vahid. **Is your dust collection system a explosion hazard?** Thurmaston: Leicester, 2003. Disponível em: <<http://www.cepmagazine.org>>. Acesso em: 07 out. 2006.

FENWAL PROTECTION SYSTEMS. **The anatomy of an explosion**. Holliston: EUA, 2003. Disponível em: <<http://www.fenwalprotection.com>>. Acesso em: 11 jan. 2007.

FIKE CORPORATION. **Explosion venting indoors, without ducts**. Missouri, EUA, 2001. Disponível em: <<http://www.fike.com>>. Acesso em: 13 janeiro 2007.

_____. **Proteção de Explosões**. Missouri: Form Breppri, 1997. Disponível em: <<http://www.fike.com>>. Acesso em: 13 jan. 2007.

FIREFLY Ab. **Parâmetros críticos para explosões de poeira**. 2005. Disponível em: <<http://www.firefly.dk>>. Acesso em: 11 jan. 2007.

_____. **The nature of dust explosions**. 2005. Disponível em: <<http://www.firefly.dk>>. Acesso em: 11 mar. 2007.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

KSU - KANSAS STATE UNIVERSITY. **Grain Dust Explosions Lowest since 1975**. Manhattan: KSU, 1989. 5 p.

HANJAL, Roberto. **Explosão de pó em silos**. Santos: CODESP, 2003.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL FUEGO. **Explosiones en unidades almacenadas**. 2004. Disponível em: <<http://www.itfuego.com>>. Acesso em: 04 jan. 2007.

ITSEMAP DO BRASIL – SERVIÇOS TECNOLÓGICOS MAPFRE. **Guias básicos de segurança: armazenamento de mercadorias**. 11. ed. 2004. Disponível em: <<http://www.veracruz.com.br>>. Acesso em: 15 jan. 2007.

LORINI, Irineu et alli. **Armazenagem de grãos**. 1.ed.Instituto Bio Geneziz,2002..

MANZONI, Daniele et alli. Proposta para prevenção e combate à explosão em silos. 2000. 34p. Monografia (Especialização) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. 2000.

LULLEZ, Heron. **Explosão de pó em manuseio de grãos e cereais**.1994. 34p. Monografia (Especialização) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Paraná. 1994

MACCOMEVAP. **O que é atmosfera explosiva?** 2004. Disponível em: <<http://www.maccomevap.com.br>>. Acesso em: 04 out. 2006.

MASHI – TÉCNICAS AMBIENTAIS. **Riscos de incêndio e explosão em equipamentos elétricos.** [200-]. Disponível em: <<http://www.mashi.com.br>>. Acesso em: 31 mar. 2007.

NATIONAL FIRE PREVENTION ASSOCIATION – FIRE INVESTIGATIONS DEPARTMENT. **Grain elevator explosion.** Quincy, EUA: NFPA, 1999. Disponível em: <<http://www.nfpa.org>>. Acesso em: 27 fev. 2007.

PÓ MORTAL I e II. Produção do Departamento de Ciência dos Grãos e Indústria da Universidade Estadual do Kansas. Manhattan: KSU Cooperative Extension Service Vídeo Presentation, [entre 1970 e 1980]. 1 fita de vídeo (20 minutos), VHS, son., color.

REMBE GmbH. **Selection guide for pressure vacuum and explosion protection.** Germany: Lorenz, 2004. 15 p. Disponível em: <<http://www.rembe.com>>. Acesso em: 07 out. 2006.

R. STAHL SCHALTGERÄTE GMBH; R. STAHL FÖRDERTECHNIK GMBH. **Basics of explosion protection.** 1999. Disponível em: <<http://www.stahl.de>>. Acesso em: 07 out. 2007.

SÁ, Ary. Explosões: o perigo dos grãos. In: **Revista Proteção.** 1998. Disponível em: <<http://www.safetyguide.com.br/artigos/explograos.htm>>. Acesso em: 30 set. 2006.

_____. Risco de explosão. **Revista Proteção.** 1997. Disponível em: <<http://www.safetyguide.com.br/artigos/perigexpl.htm>>. Acesso em: 04 jan. 2007.

SCHUTH, Karl H.; PALASIO M. **O uso de ferramentas antifaiscantes como meio de prevenção de acidentes.** 2000. Disponível em:

<<http://www.geocities.com/CapeCanaveral/4045/faisca>>. Acesso em: 04 out. 2006.

SEVERINO, Antonio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 14. ed. São Paulo: Cortez, 1986.

SILVA, Luis César. **Explosões em unidades armazenadoras de grãos**. 1999. Disponível em: <<http://www.unioeste.br>>. Acesso em: 30 nov. 2006.

NASCHOLD, Carlos Ernesto. **Pó – O Perigo Invisível**. 2004. Disponível em: <<http://www.tecnomoageira.com.br/artigos>>

SILVA, Luis César. **Armazenagem: transporte de grãos**. 2005. Disponível em: <http://agais.com/ag0605_manu_transportadores.pdf>

WEBER, Érico Aquino. **Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos**. V. 2. 2005. Disponível em: <<http://www.armazenagem.com.br>>. Acesso em: 31 mar. 2006.

_____. **Armazenagem**. V. 4. 2003. Disponível em: <<http://www.armazenagem.com.br>>. Acesso em: 31 mar. 2006.

_____. **Armazenagem**. V. 5. 2003. Disponível em: <<http://www.armazenagem.com.br>>. Acesso em: 31 mar. 2006.

_____. **Armazenagem**. V. 6. 2003. Disponível em: <<http://www.armazenagem.com.br>>. Acesso em 31 mar. 2006.

ANEXOS

NORMA REGULAMENTADORA DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO NA AGRICULTURA, PECUÁRIA SILVICULTURA, EXPLORAÇÃO FLORESTAL E AQUICULTURA – NR 31

31.13 Secadores

31.13.1 Os secadores devem possuir revestimentos com material refratário e anteparos adequados de forma a não gerar riscos à segurança e saúde dos trabalhadores.

31.13.2 Para evitar incêndios nos secadores o empregador rural ou equiparado deverá garantir a:

- a) limpeza das colunas e condutos de injeção e tomada de ar quente;
- b) verificação da regulagem do queimador, quando existente;
- c) verificação do sistema elétrico de aquecimento, quando existente.

31.13.2.1 Os filtros de ar dos secadores devem ser mantidos limpos.

31.13.3 Os secadores alimentados por combustíveis gasosos ou líquidos devem ter sistema de proteção para:

- a) não ocorrer explosão por falha da chama de aquecimento ou no acionamento do queimador;
- b) evitar retrocesso da chama.

31.14 Silos

31.14.3 O revestimento interno dos silos deve ter características que impeçam o acúmulo de grãos, poeiras e a formação de barreiras.

31.14.4 É obrigatória a prevenção dos riscos de explosões, incêndios, acidentes mecânicos, asfixia e dos decorrentes da exposição a agentes químicos, físicos e biológicos em todas as fases da operação do silo.

31.14.6 Nos silos hermeticamente fechados, só será permitida a entrada de trabalhadores após renovação do ar ou com proteção respiratória adequada. 31.14.7 Antes da entrada de trabalhadores na fase de abertura dos silos deve ser medida a concentração de oxigênio e o limite de explosividade relacionado ao tipo de material estocado.

31.14.8 Os trabalhos no interior dos silos devem obedecer aos seguintes critérios: realizados com no mínimo dois trabalhadores, devendo um deles permanecer no exterior; com a utilização de cinto de segurança e cabo vida.

31.14.9 Devem ser previstos e controlados os riscos de combustão espontânea e

explosões no projeto construtivo, na operação e manutenção.

31.14.10 O empregador rural ou equiparado deve manter à disposição da fiscalização do trabalho a comprovação dos monitoramentos e controles relativos à operação dos silos.

31.14.11 Os elevadores e sistemas de alimentação dos silos devem ser projetados e operados de forma a evitar o acúmulo de poeiras, em especial nos pontos onde seja possível a geração de centelhas por eletricidade estática.

31.14.12 Todas as instalações elétricas e de iluminação no interior dos silos devem ser apropriados à área classificada.

31.14.13 Serviços de manutenção por processos de soldagem, operações de corte ou que gerem eletricidade estática devem ser precedidas de uma permissão especial onde serão analisados os riscos e os controles necessários.

31.14.14 Nos intervalos de operação dos silos o empregador rural ou equiparado deve providenciar a sua adequada limpeza para remoção de poeiras.