

PREVENÇÃO E MITIGAÇÃO DE EXPLOSÃO E INCÊNDIO DE PÓ COMBUSTÍVEL

Índice

Página

1.0 ESCOPO	3
1.1 Mudanças	3
2.0 RECOMENDAÇÕES PARA PREVENÇÃO DE PERDAS	3
2.1 Geral.....	3
2.2 Riscos de explosão em salas/edificações.....	5
2.2.1 Construção e localização.....	5
2.2.2 Ocupação	7
2.2.3 Proteção	7
2.2.4 Operação e manutenção	9
2.3 Riscos de explosão em equipamentos	10
2.3.1 Geral.....	10
2.3.2 Eliminação do risco de explosão	10
2.3.3 Mitigação do risco de explosão.....	11
2.3.4 Controle de fontes de ignição	17
2.4 Coletores de pó e ciclones.....	19
2.4.1 Construção e localização	19
2.4.2 Proteção (3.1.21)	19
2.4.3 Controle de fontes de ignição	20
2.4.4 Coletores de pó sem invólucro (3.1.24)	20
2.5 Dutos de conexão (3.1.25).....	21
2.5.1 Ocupação	21
2.5.2 Proteção	21
2.6 Silos (3.1.26).....	22
2.6.1 Proteção	22
2.6.2 Equipamentos e processos.....	23
2.7 Elevadores de canecas (3.1.27)	23
2.7.1 Construção e localização.....	23
2.7.2 Proteção	23
2.7.3 Controle de fontes de ignição	24
2.8 Secadores por atomização	25
2.8.1 Proteção	25
2.9 Manipulação de grãos crus a granel	25
2.9.1 Equipamentos e processos.....	25
2.10 Manufatura aditiva (impressão 3D) (3.1.29).....	25
2.11 Riscos de incêndio em pós	26
3.0 AJUDA PARA RECOMENDAÇÕES	27
3.1 Comentários e suporte técnico	27
3.1.1 Existe algum problema de organização e limpeza geral? (2.2.4.2).....	27
3.1.2 Transferência do risco de explosão para ambientes externos (2.3.1.1).....	27
3.1.3 Inertização (flegmatização) (2.3.2.3).....	28
3.1.4 Determinação dos efeitos de explosões por meio de software da FM Global - DustCalc (2.3.3.1)	28
3.1.5 Dispositivos de alívio corta-chamas (2.3.3.1.2).....	29
3.1.6 Resistência de vasos (2.3.3.1.3).....	30
3.1.7 Efeitos da massa do painel de alívio de explosão (inércia) (2.3.3.1.6)	30



3.1.8	Efeitos de pressão e da bola de fogo em uma explosão (2.3.3.1.11)	32
3.1.9	Obstruções fixas próximas da frente dos alívios de explosão (2.3.3.1.12)	33
3.1.10	Distribuição de alívios de explosão (2.3.3.1.15)	33
3.1.11	Pressões operacionais de coletores de pó (2.3.3.1.17)	33
3.1.12	Isolamento de explosão (2.3.3.2)	33
3.1.13	Sistemas de isolamento (2.3.3.3)	34
3.1.14	Válvulas de boia de ação rápida (2.3.3.3.4)	34
3.1.15	Operação a vácuo (2.3.3.6)	34
3.1.16	Extinção de fagulhas versus supressão de explosão (2.3.4.1)	35
3.1.17	Energia mínima de ignição (EMI) (2.3.4.2)	35
3.1.18	Separadores de material estranho, magnético ou outros (2.3.4.3)	36
3.1.19	Lado limpo versus lado sujo dos coletores de pó (2.4.2)	36
3.1.20	Alívio de explosão de ciclones (2.4.2.3)	36
3.1.21	Mangas "condutivas" para coletores de pó (2.4.3.1)	36
3.1.22	Coletores de pó sem invólucro (2.4.4)	37
3.1.23	Dutos de conexão (2.5)	37
3.1.26	Silos (2.6)	38
3.1.27	Elevadores de canecas (2.7)	39
3.1.28	Equipamento de redução de tamanho (trituradores, pulverizadores, moinhos de martelo, etc.)	39
3.1.29	Manufatura aditiva (impressão 3D) (2.10)	39
4.0	REFERÊNCIAS	43
4.1	FM Global	43
4.2	Outras	43
	ANEXO A GLOSSÁRIO DE TERMOS	44
	ANEXO B HISTÓRICO DE REVISÕES DO DOCUMENTO	46
	ANEXO C INFORMAÇÕES DE PESQUISA SOBRE RISCOS DE EXPLOSÃO DE PÓ	47
	ANEXO D BIBLIOGRAFIA	47

Lista de figuras

Fig. 1.	Locais preferenciais para processos ou equipamentos que trabalham com pós combustíveis	6
Fig. 2.	Diagrama de painéis de alívio de explosão no telhado que se projetam acima da linha do teto	8
Fig. 3.	Válvula rotativa	14
Fig. 4.	Válvula de ação rápida (tipo gaveta)	15
Fig. 5.	Válvula boia de ação rápida (Ventex ESI®)	15
Fig. 6.	Desviador de explosão	16
Fig. 7.	Instalação interna de desviador de explosão	16
Fig. 8.	Válvula de bloqueio de alta velocidade	16
Fig. 9.	Exemplo de alívio de explosão de duto em um cotovelo	22
Fig. 10.	Dispositivo de alívio corta-chamas certificado pela FM Approvals (Foto cedida pela Rembe GmbH)	30
Fig. 11.	Exemplo de coletor sem invólucro	37
Fig. 12.	Processos de deposição de camadas de pó	40
Fig. 13.	Processos de deposição de material	40
Fig. 14.	Processos de impressão 3D e processos líquidos	41
Fig. 15.	Conceito de projeto de sinterização seletiva a laser (SLS), revista Chemical Engineering Progress, maio de 2014	41
Fig. 16.	Sistemas 3D de escala industrial: Impressoras a laser ProX300 e Concept M2	41

Lista de tabelas

Tabela 1.	Construção para ocupações que trabalham com pó	6
Tabela 2.	Alívio de explosão em elevadores de canecas	24
Tabela 3.	Densidades aparentes típicas de pós	27

1.0 ESCOPO

Esta norma técnica descreve medidas preventivas recomendadas para a redução da frequência de explosões de pós combustíveis e meios para proteção de forma a minimizar os danos causados por explosão de pós combustíveis. Os riscos de incêndio em pós podem ser encontrados em outras normas técnicas que contenham recomendações detalhadas associadas a ocupações específicas. No entanto, neste documento é apresentada uma visão geral do histórico de perdas associadas a incêndios em pós.

Esta norma não inclui esquemas para prevenção e proteção contra explosão de pós específicos para manuseio, armazenagem e processamento de grãos. As recomendações para prevenção de perdas nesse tipo de ocupação são tratadas na Norma Técnica 7-75, *Grain Storage and Millings*. Porém, as recomendações nesta norma aplicam-se a riscos presentes em instalações de manuseio de grãos que não são exclusivos desse tipo de ocupação.

A tecnologia para avaliação do risco de explosão de pós é tratada prioritariamente em unidades métricas (SI), que são as adotadas nesta norma.

Esta norma faz referência a um software chamado DustCalc. O software proprietário DustCalc foi desenvolvido para ser utilizado pelos engenheiros da FM Global para dimensionar dispositivos de alívio de explosão em edificações e equipamentos onde haja risco de explosão de pós combustíveis. Existem outras metodologias para o dimensionamento de dispositivos de alívio, mas elas não são adotadas pela FM Global.

1.1 Mudanças

Abril de 2017. Revisão Provisória. A Recomendação 2.7.2.3 sobre proteção de elevadores de canecas foi modificada para oferecer maior clareza.

2.0 RECOMENDAÇÕES PARA PREVENÇÃO DE PERDAS

2.1 Geral

2.1.1 O risco de explosão de pós deve ser considerado para todos os equipamentos que manipulam pós combustíveis, bem como qualquer sala ou edificação nas quais pós combustíveis possam estar presentes e tiverem condições de permanecer em suspensão.

2.1.2 Deve ser implementado um processo de gestão de mudanças em todas as instalações que manipulam pós combustíveis, de forma a assegurar que nenhuma modificação tenha condições de aumentar a gravidade ou a consequência de um risco já conhecido, e que não introduza um novo risco associado a pós onde anteriormente não existia. A seguir são apresentados alguns exemplos dessas modificações:

- Inclusão de novos equipamentos, tais como misturadores, trituradores, ferramentas de corte, coletores de pó, ciclones, etc.
- Aumento da temperatura no processo que resulte no manuseio de materiais mais secos
- Adição de novos materiais
- Alteração da formulação de produto com a adição de materiais combustíveis ou a redução da proporção de materiais inertes
- Modificações no processo que reduzam o tamanho das partículas dos materiais em processo

2.1.3 Quando forem planejadas mudanças em processos, equipamentos, matérias-primas ou produtos que possam alterar significativamente as propriedades do pó, teste sua explosividade novamente.

2.1.4 Certifique-se de que o processo de gestão de mudanças contenha, no mínimo, as seguintes características:

- a) Metodologia para a identificação das mudanças que devam ser submetidas ao processo de gestão de mudanças
- b) Documentação da proposta de mudança
- c) Análise formal das considerações de prevenção de perdas envolvidas na proposta de mudança
- d) Identificação da necessidade de treinamento de atualização para a equipe
- e) Comunicação da mudança e das consequências associadas a prevenção de perdas para pessoal tal como equipe de manutenção, operadores, seguranças e socorristas
- f) Definição de todos os procedimentos administrativos necessários (documentação, listas de verificação para avaliação dos riscos, treinamentos, etc.)
- g) Identificação de quaisquer autorizações necessárias

2.1.5 Quando houver possibilidade de explosão de pó, elimine a possibilidade ou minimize as consequências por meio dos seguintes métodos:

- a) Controle fugas de pó por meio de confinamento, sistemas de aspiração e concepção do projeto dos equipamentos.
- b) Instale as atividades de produção de pós em áreas segregadas dos diferentes riscos associados a ocupações, por meio de elementos construtivos (barreiras à prova de pó e à prova de explosão) ou afastamento entre as áreas.
- c) Minimize a possibilidade de acúmulo de pós projetando os elementos e equipamentos da edificação para minimizar depósitos de pós. Utilize recursos como paredes lisas e de fácil limpeza, superfícies horizontais fechadas ou cobertas (vigas, terças, etc.) e superfícies inclinadas a um mínimo de 60° da horizontal.
- d) Quando houver fugas e acúmulo de pós em edificações, projete a estrutura para aliviar com segurança possíveis explosões usando construção limitadora de danos.
- e) Instale equipamentos de coleta e transferência de pós do lado externo, longe de edificações e utilidades importantes.
- f) Construa equipamentos que processem ou transfiram partículas combustíveis de maneira que contenham ou aliviem com segurança uma possível explosão.
- g) Quando não for possível o alívio da explosão nem a contenção em equipamento, elimine o oxigênio por meio de sistema de inertização ou instale um sistema para supressão de explosão.

2.1.6 Faça manutenção efetiva dos equipamentos de produção e proteção. Um programa de manutenção efetivo irá:

- a) Identificar e eliminar, de forma contínua, fontes de liberação de pó.
- b) Inspeccionar, testar e manter os sistemas de detecção e extinção de faíscas, dispositivos de isolamento de explosão e válvulas de alívio para garantir que seu funcionamento esteja conforme as diretrizes do fabricante, ou pelo menos mensalmente.
- c) Testar e manter equipamentos de detecção e extração de metal e não metal de forma a garantir que estejam em condições operacionais adequadas, pelo menos trimestralmente.
- d) Verificar o alinhamento de correias e equipamentos rotativos pelo menos trimestralmente, de forma a evitar que eles se tornem uma fonte de aquecimento por atrito.
- e) Lubrificar mancais e equipamentos rotativos (ventiladores, sopradores, equipamentos de redução de tamanho) de acordo com as diretrizes do fabricante, ou pelo menos trimestralmente.
- f) Remover o pó acumulado em mancais e componentes de equipamentos rotativos pelo menos trimestralmente para garantir movimentação livre e impedir aquecimento por atrito.
- g) Atribuir responsabilidades e manter os registros atualizados.

2.1.7 Certifique-se de que exista um programa de conscientização abrangente sobre o risco de incêndio e explosão de pós em todos os locais nos quais haja pós combustíveis dentro de sistemas de processamento fechados ou fugas de pós dentro de edificações. Incluir o seguinte:

- a) Educação básica para promover a conscientização e a compreensão dos perigos de pós combustíveis
- b) Instrução de novos funcionários sobre os perigos específicos e as precauções relevantes para seus departamentos
- c) Atividades de instrução, simulações e familiarização com o corpo de bombeiros local e/ou brigada de incêndio da propriedade devem ser conduzidas no mínimo anualmente
- d) Treinamento para atualização periódica de todo o pessoal da propriedade

2.1.8 Faça controle rígido de possíveis fontes de ignição de pós nos locais em que pós combustíveis possam estar presentes

- a) Certifique-se de que todos os equipamentos elétricos sejam classificados como Classe II, Divisão 1 ou 2 ou Zona 20, 21 ou 22 de acordo com a NFPA 70, o código elétrico norte-americano (National Electric Code), artigos 500, 502 e 506, conforme a situação ou norma técnica internacional equivalente. (Consulte a Norma Técnica 5-1, *Electrical Equipment in Hazardous Locations*, para obter informações adicionais sobre classificação de áreas e seleção de equipamentos.)
- b) Use um sistema de autorização para trabalho a quente para gerenciar todas as operações com esse tipo de trabalho. (Consulte a Norma Técnica 10-3, *Gerenciamento de Trabalhos a Quente*, e o *Kit de Gerenciamento de Trabalhos a Quente*, P9601)
- c) Proíba o uso de cigarro e de chamas abertas.

d) Providencie aterramento e interligação entre partes metálicas com resistividade elétrica menor que 1×10^6 ohms para o solo. (Consulte a Norma Técnica 5-8, *Static Electricity*.) Verifique, pelo menos uma vez ao ano, a continuidade e fixação dos componentes metálicos de continuidade elétrica.

2.1.9 Proíba o retorno do ar proveniente de filtros ou ciclones para edificações ou salas, exceto quando o item "a" ou todos os itens "b até h" forem aplicáveis:

- a) O duto de ar de retorno descarrega em uma área que não contém fugas de pós, armazenagem ou equipamentos combustíveis, construção combustível, equipamentos de alto valor ou equipamentos essenciais à produção, OU
- b) Instale um filtro a jusante dos separadores de pó/ar que impeça o retorno de pó para o compartimento com uma eficiência mínima de 99,9% a 10 microns, E
- c) Instale um dispositivo para medir a queda de pressão no filtro com um alarme para indicar quando o filtro precisa ser limpo ou substituído, E
- d) Instale suporte para o filtro com uma tela metálica ou outro método que permita que o filtro resista a uma pressão igual ou superior ao valor de P_{red} do equipamento diretamente a montante a partir dele, E
- e) Instale isolamento de explosão entre a edificação e o último coletor de pó no sistema (o que estiver mais a jusante), E
- f) Na ativação do sistema de isolamento de explosão, desligue todos os equipamentos de coleta de pó conectados, E
- g) Vapores, gases ou misturas híbridas inflamáveis não estejam envolvidos, E
- h) O sistema de coleta de pó atende aos requisitos de proteção em outras seções desta norma técnica.

Quando esses recursos estiverem presentes, a reciclagem do ar da saída do separador não fará com que a edificação/sala exija recursos de proteção contra explosão, como alívio, etc. (No entanto, outros fatores presentes na edificação/sala podem criar essa necessidade).

2.2 Riscos de explosão em salas/edificações

2.2.1 Construção e localização

Isole as áreas que manipulam pós combustíveis de outras ocupações menos perigosas separando-as com construção ou distância para minimizar os danos causados pela possibilidade de explosão ou incêndio. As áreas que precisam de isolamento seriam aquelas nas quais as fugas de pós não são facilmente controladas, como, por exemplo, atividades com esmeril, lixa, serra, transporte a granel, enchimento de recipientes abertos, etc. As exceções seriam, por exemplo, salas que contêm coletores de pó com alívio adequado, secadores por atomização, secadores de leite fluidizado, etc.

Em novas construções onde é provável que ocorram fugas de pós, maximizar o alívio de explosão além daquele determinado pelo software DustCalc pode fornecer flexibilidade para mudanças futuras em processos ou materiais que, muitas vezes, podem ser feitas com menor custo adicional.

2.2.1.1 Isole áreas que manipulem pós combustíveis adotando os métodos descritos abaixo em ordem de preferência (veja também Figura 1, Tabela 1):

- a) Local externo destacado a, pelo menos, 15 m (50 ft) de distância de edificações ou instalações de utilidades importantes (Fig. 1, Local 1).
- b) Anexo a uma parede externa de uma edificação importante, de preferência no canto para limitar a exposição (Fig. 1, Local 2).
- c) Dentro de uma edificação importante no pavimento térreo, em um canto externo ou anexo a uma parede externa. Evite locais em andares superiores de edificações de vários andares. Quando locais acima do nível térreo forem inevitáveis, certifique-se de que o piso e o teto da sala tenham a mesma resistência a pressão que as paredes. (Fig. 1, Locais 3 e 4)

Quando confirmado pelo software DustCalc, a separação pode ser reduzida para menos do que o recomendado em "a" acima ou Distância X na Tabela 1.

2.2.1.2 Evite locais abaixo do nível do solo que não possam ter alívio de explosão adequado.

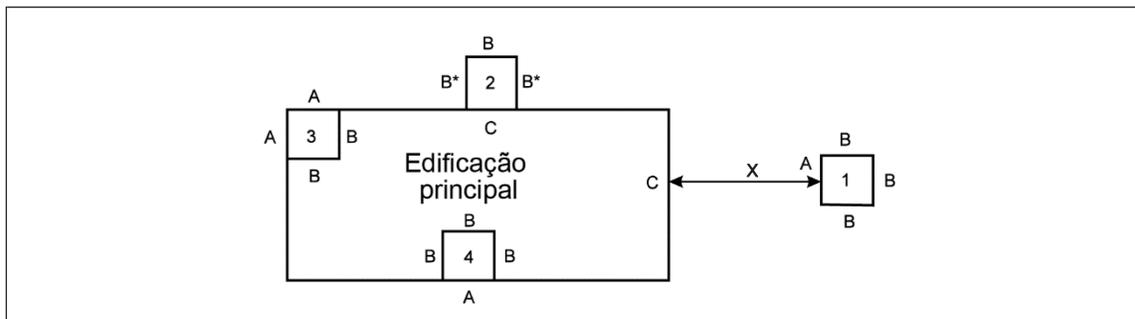


Fig. 1. Locais preferenciais para processos ou equipamentos que trabalham com pós combustíveis

Tabela 1. Construção para ocupações com manuseio de pós

Local	Distância X, m (ft)	Construção da sala/edificação			Construção da parede exposta C	
		A	B	Telhado		
1 (observação 3)	> 15 (50)	PV	PV	PV ou LW	Qualquer	
	50 – 10 (15 – 3)	PR	PV	PV ou LW	Qualquer	
	< 3 (10)	PR	PV	PV ou LW	PR para 3 m (10 ft), horizontal e verticalmente além da estrutura que	
2	Adjacente	Informação não disponível	B	B*	PV ou LW	PR para 3 m (10 ft), horizontal e verticalmente além da estrutura adjacente
			PV	PV		
	Adjacente	Informação não disponível	B	B*	PR	PR para 3 m (10 ft), horizontalmente além da estrutura adjacente
			PV	PV		
	Adjacente	Informação não disponível	B	B*	PR	PR somente para parede adjacente
			PV	PR		
3 (observação 5)	Interna	PV	PR	PR	Informação não disponível	
4 (observação 5)	Interna	PV	PR	PR	Informação não disponível	

- Esta tabela aborda apenas a proteção contra risco de explosão.
- Os tipos de construção são definidos da seguinte forma:
PR = resistente a pressão
PV = com alívio de pressão
LW = leve, incombustível
- Quando confirmado com cálculos feitos pelo software DustCalc, a distância X da localização 1 pode ser menor que a listada acima.
- Construção resistente a pressão também é necessária para pisos e tetos com espaços abaixo ou acima que contenham ocupações menos perigosas.
- Quando alívio de pressão adequado puder ser obtido usando apenas a área das paredes, os telhados (mas não os forros) não precisam ter alívio de pressão.

2.2.1.3 Construa edificações nas quais exista risco de pós combustíveis de materiais incombustíveis ou materiais classificados como Classe 1 certificados pela FM Approvals.

2.2.1.4 Certifique-se de que as barreiras físicas que isolam as áreas de risco de pós estejam vedadas contra pó usando material incombustível. Quando as barreiras tiverem resistência a fogo, certifique-se de que as selagens mantenham a mesma resistência a fogo das barreiras.

2.2.1.5 Use vedações de portas, vedações de janelas, pressurização positiva da sala, etc. para evitar que pós entrem e se acumulem em áreas adjacentes que não tenham suas próprias fontes de fugas de pó.

2.2.1.6 Certifique-se de que as barreiras físicas que isolam as áreas de risco de pós tenham resistência a explosão suficiente de forma a evitar falhas antes que a pressão possa ser aliviada com segurança.

2.2.1.7 Não permita aberturas em paredes resistentes a explosões. Quando não for possível evitar aberturas, mantenha todas as portas dessas paredes normalmente fechadas e certifique-se de que elas tenham a mesma resistência a explosões que as paredes em si. (Consulte a Norma Técnica 1-44, *Damage-Limiting Construction*, para projeto e instalação de portas e janelas resistentes a explosões.)

2.2.1.8 Instale áreas de resistência a pressão e de alívio de acordo com os cálculos realizados no software DustCalc da FM Global.

2.2.1.9 Em edificações nas quais seja provável ter fugas de pós, apesar do projeto do processo e da manutenção dos equipamentos, projete os elementos estruturais da edificação e seus equipamentos de forma a reduzir a probabilidade e a quantidade de acúmulo de pó usando todas ou qualquer uma das opções a seguir, conforme apropriado:

- a) Construa paredes internas lisas com o mínimo de saliências.
- b) Sempre que possível, instale perfis inclinados com superfícies lisas como acabamento sobre superfícies horizontais tais como treliças, vigas, saliências e superfícies superiores de equipamentos, para evitar acúmulo de pós suspensos.
- c) A inclinação dos perfis deve ser de no mínimo 60° da horizontal, a menos que uma inclinação menor seja sabidamente suficiente.
- d) Encapsule as estruturas metálicas do teto que estejam fora do alcance de operações normais de aspiração ou varredura e que tenham saliências horizontais (como vigas em I ou canais em U na posição para cima ou para os lados) com um material incombustível para eliminar locais de possível acúmulo de pó.

2.2.2 Ocupação

2.2.2.1 As edificações podem ser consideradas como livres do risco de pó combustível se contiverem equipamentos de manuseio de pós projetados e protegidos para controlar ou aliviar com segurança uma explosão interna, de acordo com as seções pertinentes desta norma técnica.

2.2.2.2 Siga qualquer uma ou todas as etapas a seguir, sempre que necessário, onde seja esperada quantidade significativa de fugas de pós em novas operações ou esteja excessiva em operações existentes:

- a) Examine os equipamentos de processo para identificar as fontes de fugas de pó.
- b) Modifique, repare ou substitua equipamentos para eliminar ou pelo menos reduzir as fugas de pó.
- c) Instale pontos permanentes de sucção em locais que liberam pó, tais como moagem, polimento, esvaziamento de sacos, pontos de transferência abertos em sistemas de transporte e outros equipamentos/locais nos quais grandes quantidades de pó sejam liberadas frequentemente. Em alguns casos, isso pode exigir a construção de uma capota ventilada ou de um compartimento de contenção para equipamentos existentes.
- d) Opere sistemas de manuseio de pó fechados com uma leve pressão negativa para reduzir as fugas de pós.
- e) Conduza ações de organização e limpeza mais frequentemente em operações existentes enquanto equipamentos estiverem sendo modificados (consulte a Seção 2.2.4).

2.2.2.3 Edificações existentes com quantidades pequenas e localizadas de fugas de pó combustível (menos de 5% da área da edificação e, em nenhum caso, com área superior a 93 m² [1.000 ft²]) podem ser aceitas sem aspectos construtivos de limitação de danos por explosão se as seguintes condições forem atendidas:

- a) A taxa de fugas acúmulo de pó seja muito baixa, ou seja, menos de 2 mm (¹/₁₆ in) para pós com densidade aparente aproximada de cerca de 580 kg/m³ (36 lb/ft³) a cada três meses, e
- b) A frequência de limpeza deve ser alta o suficiente de forma a permitir que uma limpeza programada possa ser perdida sem permitir que o acúmulo de pó atinja o nível inaceitável de 2 mm (¹/₁₆ in) observado acima.

2.2.3 Proteção

2.2.3.1 Construa paredes resistentes e de alívio de pressão de acordo com a Norma Técnica 1-44, *Damage-Limiting Construction*.

- a) Especifique a menor pressão de alívio de explosão (P_{stat}) possível levando em conta as necessidades de resistência ao vento. Em áreas de baixa velocidade de vento de projeto, a P_{stat} pode ser tão baixa quanto 0,01 bar (20 psf), enquanto em áreas com ventos mais fortes é mais comum que seja entre 0,015 e 0,02 bar (30 a 40 psf).
- b) Instale áreas de resistência a pressão e de alívio de acordo com os cálculos realizados no software DustCalc da FM Global.

2.2.3.2 Não instale alívios de explosão no teto como proteção contra explosão.

2.2.3.3 Se um estudo de engenharia completo mostrar que apenas paredes com alívio de explosão não fornecem a área de alívio necessária para proteção contra explosão, painéis de alívio podem ser instalados no teto para fornecer uma parte da área de alívio necessária se não houver possibilidade de acúmulo de neve e gelo nos painéis. Qualquer um dos seguintes métodos é aceitável:

- a) Posicione os painéis de alívio de explosão em um ângulo mínimo de 60°, seja em um teto inclinado nesse ângulo ou como uma projeção acima da linha do teto (veja a Figura 2). Para os painéis de alívio projetados acima da linha do teto, a área efetiva de alívio a ser usada nos cálculos de dimensionamento do respiro é a menor área transversal pela qual os gases de combustão teriam que passar.
- b) Instale traço de aquecimento ao longo do perímetro e pela área da superfície do painel de alívio de explosão.
1. Deixe o traço de aquecimento permanentemente acionado ou acione automaticamente o sistema sempre que a temperatura externa cair para 0°C (32°F) ou menos.
 2. Certifique-se de que o cabo de alimentação elétrica para o traço de aquecimento tenha folga suficiente para permitir que o painel de explosão seja acionado conforme pretendido.
 3. Utilize traço de aquecimento certificado pela FM Approvals.
- c) Instale painéis de alívio de explosão sem isolamento térmico para permitir que o calor da edificação derreta neve ou gelo. Espere condensação sob o painel de alívio de explosão e tome medidas para garantir que ela não cause problemas.

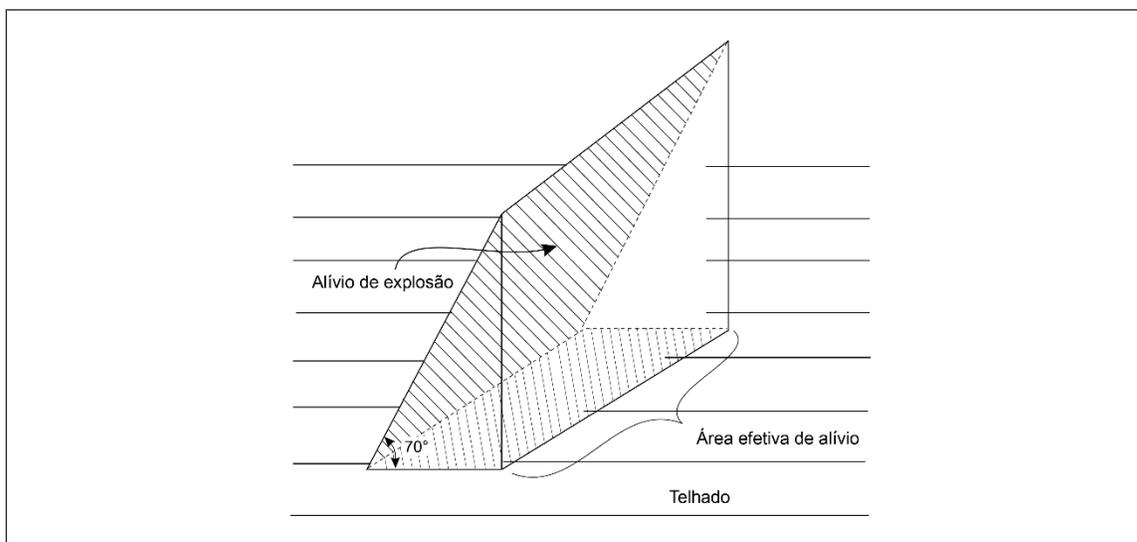


Fig. 2. Diagrama de painéis de alívio de explosão no telhado que se projetam acima da linha do teto

2.2.3.4 Quando os dispositivos de alívio de explosão forem basculantes, em vez de se romperem, use dispositivos acionados por gravidade ou mecânicos para garantir que eles não fechem novamente após operação. (3.1.9)

2.2.3.5 Para evitar a liberação não controlada de painéis de alívio de explosão onde eles possam apresentar risco de projeção, siga estas etapas:

- Instale tirantes para limitar o movimento dos painéis.
- Conecte os tirantes a não mais do que dois cantos, certificando-se de que os cantos atirantados sejam adjacentes.
- Para evitar que os painéis atirantados retornem para a abertura de alívio após a explosão, conecte os tirantes na lateral ou na parte inferior do painel em vez de na parte superior. Isso permite que os painéis deixem a abertura do alívio completamente livre, criando um caminho desobstruído para que os gases de combustão fluam durante a explosão e para que ar fresco flua para o compartimento protegido após a explosão.
- Defina o comprimento mínimo do tirante pela seguinte equação:

$$l \geq \frac{a \times b}{2 \times (a+b)}$$

Onde

l = comprimento do tirante

a, b = dimensões laterais do painel de alívio de explosão

e) Quando o comprimento do tirante for menor que o determinado acima, considere o painel de alívio de explosão como um painel basculante ao realizar cálculos para determinar a área de alívio e a pressão de explosão ventilada (P_{red}). Isso levará em conta o obstáculo ao processo de alívio criado por tirantes curtos.

f) Se os tirantes estiverem instalados em todos os quatro cantos, isso poderá ser considerado aceitável quando o comprimento dos tirantes exceder o mínimo definido no item d acima. Se forem menores, a área de alívio efetiva estará restrita ao espaço circular determinado pelo comprimento do tirante e pelas dimensões do painel, em vez do tamanho do próprio painel.

2.2.3.6 Não conecte tubulações do sistema de sprinklers a nenhuma parede, forro ou telhado que possa ser deslocado pela pressão de uma explosão em uma sala ou edificação.

2.2.4 Operação e manutenção

2.2.4.1 Em edificações nas quais possa haver fugas de pós apesar do projeto do processo e da manutenção dos equipamentos, incorpore as seguintes ações em um programa de controle de fugas de pó:

- a) Atribuir responsabilidades e manter registros.
- b) Providenciar tempo e recursos regularmente.
- c) Criar um programa de manutenção e revisá-lo periodicamente para garantir sua adequação.
- d) Dar atenção especial à eliminação de acúmulo de pós acima do nível do piso, tais como topo de equipamentos e elementos estruturais da edificação, pois o pó poderá ser suspenso (transportado pelo ar) mais facilmente e criar uma nuvem explosiva caso seja agitado.
- e) Limpar por aspiração, onde for possível, com um sistema central, um sistema portátil ou sobre rodas, conforme apropriado.
- f) Quando a aspiração for impraticável, varrer ou lavar com água são outras opções aceitáveis.
- g) Quando jato de ar comprimido for o único método prático de limpeza, adotar as seguintes precauções:
 1. Usar jatos de ar em frequência suficiente para evitar acúmulos perigosos de pó.
 2. Limitar o uso de jatos de ar a áreas pequenas a cada vez, com os menores volumes e pressões de ar possíveis.
 3. Desligar os equipamentos elétricos não adequados a locais de risco Classe II, Divisão 2.
 4. Proibir chamas abertas e trabalhos a quente, e garantir que não existam superfícies quentes.

2.2.4.2 Qualquer acúmulo de pó apresenta uma possibilidade de explosão secundária e deve ser eliminado em edificações sem construção limitadora de danos (CLD) e controlada naqueles com CLD (3.1.1).

- a) Definir a frequência da limpeza de pós como a necessária para prevenção de acúmulos de mais de 2 mm ($1/16$ in) de espessura em mais de 5% da área do piso.
- b) Considerar pós liberados além desses limites, em espessura ou em área, como um indicador para iniciar a ação de limpeza.
- c) Certifique-se de que a área total de acúmulo não exceda 93 m² (1.000 ft²).
- d) A espessura de 2 mm ($1/16$ in) é baseada em pós típicos originados de madeira ou grãos, com densidade aparente de cerca de 580 kg/m³ (36 lb/ft³). As espessuras-limite para pós de densidade diferente podem ser baseadas em uma proporção de suas densidades aparentes.

2.2.4.3 Inspeção periodicamente os dispositivos de alívio de explosão de forma a evitar que sua condição ou mobilidade sejam prejudicadas. Possíveis deficiências incluem:

- a) Corrosão
- b) Pintura inadequada de peças móveis ou membranas de ruptura
- c) Formação de gelo
- d) Acúmulo de neve nos dispositivos de alívio ou na frente deles
- e) Obstrução por tubos, cabos ou outras utilidades
- f) Equipamentos permanentes ou temporários localizados próximo dos dispositivos de alívio

Qualquer uma dessas deficiências pode aumentar a pressão efetiva de alívio (P_{stat}) e causar falha nas paredes resistentes a explosão e/ou danificar a estrutura da edificação durante uma explosão.

2.3 Riscos de explosão em equipamentos

2.3.1 Geral

2.3.1.1 Instale todo equipamento com risco de explosão ao ar livre sempre que possível (3.1.2).

2.3.1.2 Quando o equipamento apresentar risco de explosão, tome uma das medidas a seguir:

- a) Elimine o risco de explosão usando qualquer uma das técnicas detalhadas na Seção 2.3.2, OU
- b) Reduza o risco de explosão usando alívio, supressão, contenção ou operação a vácuo, ou uma combinação adequada desses recursos, conforme detalhado na Seção 2.3.3.

2.3.2 Eliminação do risco de explosão

2.3.2.1 Quando o equipamento trabalhar com material bruto, evite que seja gerado pó durante o manuseio desse material por métodos adequados, ou limpe antes o material bruto para remover todas as partículas finas da maioria dos equipamentos do processo.

2.3.2.2 Quando o equipamento trabalhar com material bruto, evite que seja gerado pó durante o manuseio do material, eliminando o pó em suspensão dentro de equipamentos de processo por meio de aspersão de água ou outro líquido compatível, da seguinte forma:

- a) Aplique o líquido supressor em um ponto do processo que envolva turbulência substancial, por exemplo, em uma calha de descarga, para garantir que o líquido supressor seja completamente misturado com o fluxo de material.
- b) Instale um intertravamento que desligue o fluxo de processo sólido em caso de falha do sistema de aspersão de líquido, se esse sistema for o único meio de controle de riscos.
- c) Confirme a eficácia do sistema de eliminação de pó no equipamento verificando-o visualmente enquanto em funcionamento, por exemplo, abrindo as portas de acesso ou inspeção.
- d) Desenvolva um programa de manutenção e inspeção com procedimentos por escrito e registros que garantam que o sistema supressor de pó por aspersão esteja funcionando corretamente sempre que o fluxo de processo sólido estiver sendo manuseado.

2.3.2.3 Inertize os pós combustíveis por meio de mistura com pós incombustíveis (processo conhecido como "flegmatização") da seguinte forma (3.1.3):

- a) Execute um teste para determinar se a mistura não é combustível conforme a ASTM E1226, EN 14034-1 e 2 ou outra norma internacional equivalente.
- b) Certifique-se de que o pó incombustível não se separe do pó combustível durante o manuseio dos materiais.

2.3.2.4 Reduza o nível de oxigênio no processo com um gás inerte de acordo com as recomendações da Norma Técnica 7-59, *Inerting and Purging of Equipment*.

2.3.2.4.1 Se os valores de concentração limite de oxigênio (LOC - *Limiting Oxygen Concentration*) não estiverem disponíveis na Norma Técnica 7-59 para o material manuseado, conduza testes laboratoriais dos materiais para determinar seus LOCs.

2.3.2.4.2 Se uma atmosfera inerte for usada para proteger o transporte pneumático de pó de metal leve (alumínio, magnésio, titânio, zircônio) recém-gerado ou recém-fabricado:

- a) Mantenha uma concentração mínima de oxigênio de pelo menos 1% para garantir que uma camada estável de óxido possa ser formada para fazer com que o pó seja apassivado.
- b) Se o metal em pó não for exposto ao ar ou se o teste mostrar que um nível de oxigênio mais baixo é aceitável, concentrações inferiores a 1% serão aceitáveis.

2.3.2.4.3 Os pós de metal de titânio, magnésio, zircônio, urânio e tório entrarão em combustão na presença de dióxido de carbono puro. Use argônio, hélio ou nitrogênio (exceto para titânio, que pode ser inflamado em nitrogênio puro) para tornar inertes os processos de manuseio desses materiais.

2.3.2.5 Como alternativa para tornar uma atmosfera inerte para o manuseio de pó de metal leve recém-fabricado (alumínio, magnésio, titânio e zircônio), siga estas etapas:

- a) Use coletores úmidos (com fluxo de água) em vez de coletores secos.
- b) Remova o lodo acumulado e descarte-o de maneira segura antes de desligar o sistema de coleta.
- c) Mantenha a ventilação do coletor operacional até que o lodo de metal/água seja removido dele.

O alumínio tem EMI muito baixa (chega a 0,1 mJ), o que o torna facilmente ignífero, e os pós de metal em geral podem ter K_{st} alto, o que dificulta muito providenciar alívio de explosão adequado. O pó de alumínio, quando umedecido com água, pode formar pequenas quantidades de hidrogênio, portanto ele precisa ser mantido úmido o tempo todo.

2.3.3 Mitigação do risco de explosão

2.3.3.1 Alívio

2.3.3.1.1 Providencie uma área de alívio de acordo com os cálculos realizados usando o software DustCalc da FM Global (3.1.4).

2.3.3.1.2 Quando equipamentos com risco de explosão instalados internamente não puderem ser transferidos para fora, instale alívio de explosão de uma das seguintes maneiras:

- a) Posicionar o vaso próximo a uma parede externa e direcionar o alívio de explosão para o exterior por meio de um duto de exaustão curto.
- b) Aliviar a explosão para a área ao redor por meio de um dispositivo de alívio corta-chamas certificado pela FM Approvals em uma área sem fugas de pós (3.1.5).

1. Será necessário um aumento da área de alívio (em comparação com um alívio aberto ou sem obstrução) para compensar a redução de eficiência causada pelo dispositivo de alívio corta-chamas.
2. Utilizar a eficiência de alívio para o dispositivo corta-chamas certificado pela FM Approvals conforme listado no *Approval Guide*, uma publicação da FM Global.

Quando as condições acima não forem viáveis, implemente outros métodos de mitigação de risco de explosão descritos em 2.3.1.2.b.

2.3.3.1.3 Para cálculos da área de alívio quando dados de resistência de projeto do equipamento não estão disponíveis, use os seguintes valores de P_{red} (pressão máxima permitida) para equipamentos normalmente construídos, pressupondo que alguma deformação do vaso possa ocorrer em uma explosão devidamente ventilada:

- a) vasos retangulares fracos (por exemplo, coletor de pó do tipo filtro de mangas): 0,2 barg (2,9 psig)
- b) vasos cilíndricos (por exemplo, ciclone) ou vasos retangulares fortes (reforçados): 0,3 barg (4,4 psig) (3.1.6)

2.3.3.1.3.1 Para vasos nos quais deformação não é aceitável, obtenha a resistência de projeto do equipamento ou considere metade dos valores acima para P_{red} .

2.3.3.1.4 Especifique a pressão de alívio de explosão (P_{stat}) o mais baixo possível de acordo com os seguintes critérios:

- a) Sem exceder 0,05 barg (0,7 psig) quando o vaso operar abaixo dessa pressão, OU
- b) Pelo menos 0,1 barg (1,4 psig) abaixo do P_{red} presumido para pressões de operação maiores

2.3.3.1.5 Para cálculos da área de alívio quando os dados de resistência do projeto do equipamento estão disponíveis, defina o valor de P_{red} de acordo com os seguintes critérios:

- a) Quando for aceitável deformação do vaso, use um valor igual ao dobro da resistência do projeto.
- b) Quando for preciso evitar deformação do vaso, use um valor igual à resistência do projeto (3.1.6).

2.3.3.1.6 Construa painéis de alívio de explosão com o material mais leve possível (menor massa por área) para minimizar a área de alívio necessária. Painéis de alívio de explosão do tipo membranas de ruptura (por exemplo, discos de ruptura pré-fabricados, folha de alumínio, etc.) praticamente não têm nenhuma inércia e não requerem ajuste na área de alívio de explosão necessária (3.1.7).

2.3.3.1.6.1 Se os dispositivos de alívio forem mais pesados do que as membranas leves, calcule o efeito sobre a área de alívio usando o software DustCalc da FM Global.

2.3.3.1.7 Instale dutos de alívio que redirecionem os produtos de combustão do alívio para uma área segura de acordo com o seguinte:

- a) Direcione o duto de alívio para uma área externa segura.
- b) Não instale curvas no duto.
- c) Limite a relação comprimento/diâmetro (L/D*) do duto em 1.
- d) Certifique-se de que o duto de alívio seja pelo menos tão resistente quanto o P_{red} do vaso.
- e) Não instale dispositivos de fechamento na extremidade de saída do duto que obstruam a livre passagem do material descarregado.
- f) Quando as condições acima não puderem ser atendidas, quantifique o efeito na área de alívio usando o software DustCalc da FM Global (3.1.8).

* Calcule o diâmetro equivalente (D_{eff}) de um duto não circular da seguinte forma:

$$D_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{4A_d}{\pi}}$$

Sendo que A_d é a área transversal do duto (m² ou ft²)

2.3.3.1.8 Quando for instalada uma tela metálica ou outra obstrução entre um painel de alívio de explosão e a atmosfera, ajuste a área efetiva do alívio de explosão levando em conta a redução na eficiência de alívio da seguinte forma:

- a) Se a tela ou obstrução for menor que 15% da área de alívio de explosão, nenhum ajuste será necessário.
- b) Se a tela ou obstrução for entre 15% e 40% da área de alívio de explosão, calcule a área efetiva de alívio usando:

$$A_{v,\text{eff}} = A_{v,\text{actual}} \times \frac{115 - \% \text{ bloqueio}}{100}$$

- c) Se a tela ou obstrução exceder 40% da área de alívio de explosão, o bloqueio será excessivo. Substitua a tela ou obstrução por algo que cause um bloqueio menor.

2.3.3.1.9 Quando os dispositivos de alívio de explosão forem basculantes em vez de se romperem, use dispositivos acionados por gravidade ou mecânicos para garantir que eles não se fechem novamente e criem condições de vácuo que possam derrubar ou implodir o equipamento protegido (3.1.9).

2.3.3.1.9.1 Se os alívios de explosão puderem fechar novamente e não houver outras aberturas que possam admitir ar para o equipamento protegido, instale dispositivos quebra-vácuo. (Consulte a norma de engenharia alemã VDI 3673 para obter informações de dimensionamento.)

2.3.3.1.10 Para evitar a ejeção de painéis de alívio de explosão como mísseis, instale tirantes de acordo com a Seção 2.2.3.5.

2.3.3.1.11 Não mantenha objetos sujeitos a danos por incêndio ou pressão na direção de alívio dos dispositivos de alívio de explosão (3.1.10.1 e 3.1.10.2).

2.3.3.1.12 Para novas instalações, mantenha uma distância de pelo menos dois diâmetros de alívio de explosão entre a saída do alívio (frente do alívio ou duto de alívio) e qualquer obstrução grande, fixa e plana (por exemplo, uma parede). Para saídas de alívio de explosão com seções transversais não circulares, use o diâmetro hidráulico conforme calculado abaixo (3.1.11).

Diâmetro hidráulico = $4A/p$, sendo que
 A = área transversal do alívio
 p = perímetro da seção transversal

2.3.3.1.13 Quando uma tampa de proteção contra intempéries ("chapéu chinês") for instalada sobre a extremidade de um duto de alívio de explosão, estime o efeito sobre a eficiência do alívio da seguinte forma:

- a) Se houver uma distância igual a pelo menos um diâmetro do alívio de explosão entre a extremidade do duto e a cobertura de proteção contra intempéries, a eficiência não será afetada.
- b) Se a distância estiver entre 0,25 e 1 vez o diâmetro de alívio de explosão, considere a tampa de proteção contra intempéries como uma curva de 90° no fluxo a ser aliviado ao calcular o efeito do duto de alívio.
- c) Uma distância inferior a 0,25 vez o diâmetro de alívio de explosão é inaceitável, a menos que ele seja dimensionado para ser ejetado em caso de explosão.

Para dutos não circulares, use o diâmetro hidráulico nesses cálculos (2.3.3.1.12).

2.3.3.1.14 Não instale alívio de explosão se o pó ou seus produtos de combustão forem venenosos, radioativos, corrosivos para equipamentos ou estruturas próximos ou se por qualquer outro motivo não devam ser liberados de um sistema que de outra forma permanecesse fechado. Use alternativas ao alívio, tais como eliminação de riscos de explosão, supressão de explosão, contenção de explosão ou operação a alto vácuo.

2.3.3.1.15 Quando um vaso que contenha obstruções significativas ao fluxo livre de gases necessitar de alívio de explosão, instale vários alívios distribuídos em diferentes locais do vaso, em vez de um alívio de mesma área total (3.1.12).

2.3.3.1.16 Quando um vaso contiver pó combustível em suspensão e vapores de líquidos igníferos ou gases inflamáveis (ou seja, uma mistura híbrida), a reatividade da mistura exigirá áreas de alívio maiores do que o pó combustível em si.

- a) A presença de vapor ou gás inflamável pode ser ignorada se a concentração for igual ou inferior a 5% de seu limite inferior de explosividade (LIE).
- b) Quando a concentração de gás exceder 5% de seu LIE, determine a reatividade da mistura testando-a.

2.3.3.1.17 A área de alívio de explosão necessária para um vaso com risco de explosão de pó operando a pressões superiores a 0,1 barg (1,5 psig) requer atenção especial e precisa ser analisada cuidadosamente. O software DustCalc da FM Global pode lidar com pressão inicial de até 4 barg (58 psig) para explosões de volume total.

- a) Especifique a pressão de alívio P_{stat} pelo menos 0,1 barg (1,5 psig) acima da máxima pressão de operação normal (3.1.13).
- b) Obtenha critérios de dimensionamento de alívio com especialistas familiarizados com alívio de pressão inicial alta.

2.3.3.1.18 As forças de recuo geradas pelo alívio de uma explosão podem deslocar até mesmo vasos grandes que não estejam devidamente ancorados. Implemente uma das seguintes opções para controlar as forças de recuo:

- a) Instale painéis de alívio de tamanho igual em lados opostos do vaso.
- b) Calcule a magnitude e a duração da força de recuo dinâmica (ou força estática equivalente) de alívio e instale ancoragem para resistir a essas forças (3.1.10.3).

2.3.3.2 Isolamento

Evite a interconexão de vários equipamentos que contenham risco de explosão de pó. Equipamentos devidamente protegidos podem falhar quando uma explosão se propaga de outro equipamento. Os sistemas de isolamento podem impedir essa condição (3.1.14).

2.3.3.2.1 Instale isolamento de explosão em todas as conexões de vasos (ou grupos de vasos) projetados para conter a pressão de explosão (projeto resistente a explosão).

2.3.3.2.2 Instale isolamento de explosão em todas as conexões entre vasos (ou grupos de vasos) protegidos individualmente por alívio de explosão (ou outro método de mitigação), se danos à propriedade ou parada de produção causados por propagação de explosão forem inaceitáveis.

2.3.3.2.3 Dimensione os dispositivos de isolamento mecânico em equipamentos projetados para conter a explosão com base na pressão do projeto do vaso e os dispositivos de isolamento em equipamentos protegidos por alívio de explosão para resistir à pressão de explosão reduzida (P_{red}). Isso inclui válvulas rotativas, válvulas de ação rápida, desviadores de frente de chamas/explosão, válvulas de bloqueio de alta velocidade, válvulas de descarga dupla e dampers de retorno de explosão.

2.3.3.2.4 Certifique-se de que os dispositivos de isolamento ativos que requeiram detecção para sua ativação mecânica estejam separados o suficiente dos detectores para que o dispositivo se feche antes da chegada da frente de chama.

2.3.3.2.5 Tubulações utilizadas para transporte pneumático de pós combustíveis em fase densa geralmente não apresentam risco de propagação de explosões. Tubulações podem ser instaladas sem dispositivos de isolamento de explosão se o material transportado não for pó de metal ou uma mistura híbrida.

2.3.3.3 Sistemas de isolamento

Esta seção inclui formas aceitáveis de isolamento de explosão e os recursos necessários para garantir que os sistemas sirvam como barreiras eficazes contra chamas (3.1.15).

2.3.3.3.1 Sistemas de bloqueio químico contra explosão

- a) Instale o sistema de acordo com a Norma Técnica 7-17, *Explosion Protection Systems*.
- b) Utilize equipamentos certificados pela FM Approvals.
- c) Esses sistemas podem ser inadequados nas seguintes condições:
 1. As vazões de processo são altas.
 2. A explosão primária ocorre em um vaso muito grande.
 3. A explosão primária ocorre em um vaso protegido por contenção de explosão.

2.3.3.3.2 Válvulas rotativas

Instale válvulas rotativas da seguinte forma:

- a) Certifique-se de que o ângulo entre palhetas adjacentes e o formato da carcaça permitam que duas palhetas de cada lado estejam acopladas (perto da parede da carcaça) o tempo todo.
- b) Certifique-se de que as palhetas (inclusive as pontas) sejam feitas de metal e tenham uma espessura de pelo menos 3 mm ($\frac{1}{8}$ in).
- c) Certifique-se de que a folga entre as pontas das palhetas e a carcaça esteja entre 0,2 e 0,25 mm (menor ou igual a 0,1 mm para pó de alumínio). Consulte a Referência 17 no Anexo D se forem necessárias informações adicionais sobre a folga permitida.
- d) Intertrave as válvulas rotativas de forma que parem automaticamente em caso de explosão, a fim de evitar a passagem de material em chamas. Não será necessário o intertravamento se o material em queima não puder causar focos de incêndio ou explosão significativos.

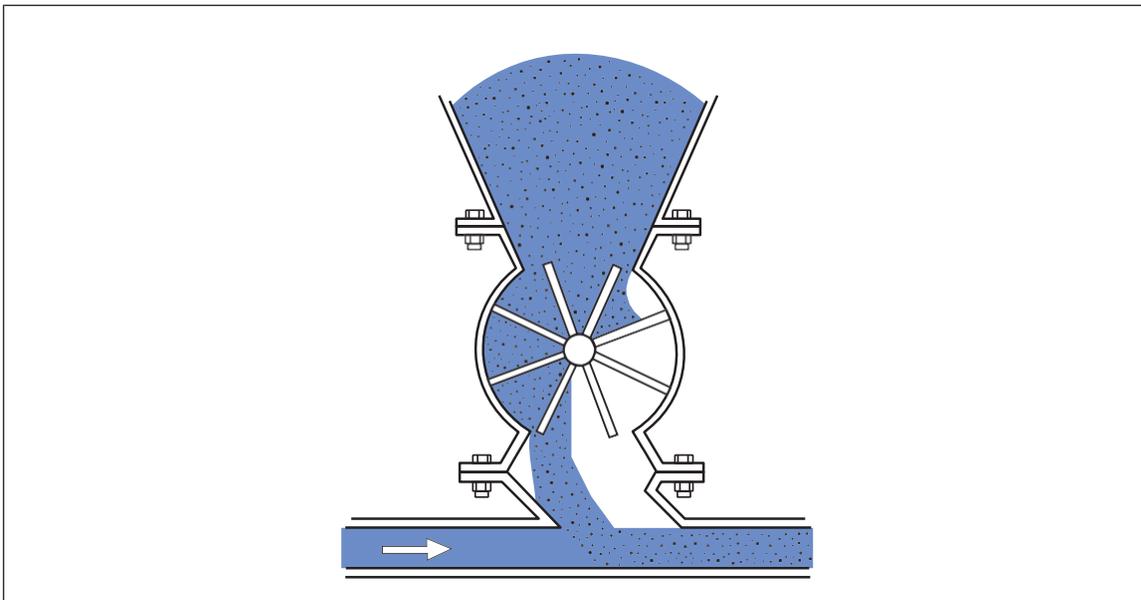


Fig. 3. Válvula rotativa

2.3.3.3.3 Válvulas de ação rápida do tipo gaveta ou borboleta

Certifique-se de que a distância entre o dispositivo de detecção de explosão e a válvula de ação rápida seja suficientemente longa para permitir que a válvula se feche totalmente antes da chegada da frente de chamas proveniente da explosão do pó.



Fig. 4. Válvula de ação rápida (tipo gaveta)

2.3.3.3.4 Válvula de ação rápida (tipo boia) (3.1.16)

Um exemplo desse tipo de válvula é a Ventex ESI (Figura 5).

- Instale a válvula a pelo menos 5 m (16 ft) e a não mais que 12,5 m (41 ft) do equipamento no qual a explosão pode iniciar.
- Certifique-se de que o valor de P_{stat} (a pressão de abertura do alívio) para equipamentos com alívio de explosão a montante ou a jusante da válvula do tipo boia exceda a pressão diferencial necessária para fechar a válvula, normalmente da ordem de 0,1 barg (1,5 psig).
- Quando o valor de P_{stat} precisar ser mais baixo que a pressão diferencial necessária, instale um mecanismo de fechamento alternativo por meio de um sistema de detecção óptica na origem da explosão que acionará a liberação em alta velocidade do gás comprimido próximo à válvula do tipo boia para fechá-la.
- Não instale válvulas do tipo boia em um fluxo de ar que tenha quantidade significativa de pó abrasivo. Tal condição pode causar o desgaste prematuro das superfícies da boia móvel.

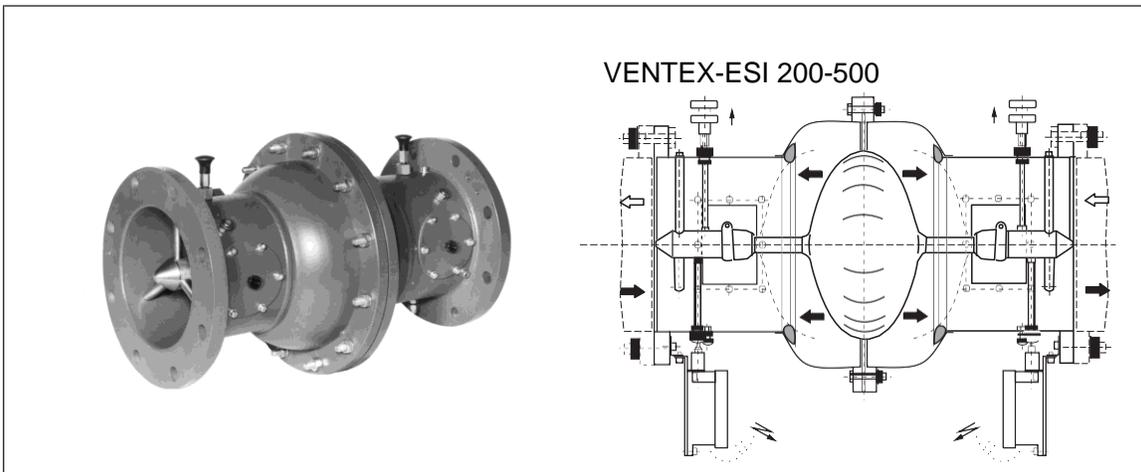


Fig. 5. Válvula boia de ação rápida (Ventex ESI®)

2.3.3.3.5 Desviador de frente de chamas ou desviador de explosão

- a) Não instale esse dispositivo a montante de um dispositivo de movimentação de ar, pois uma explosão originada a montante do desviador se propagará além desse desviador.
- b) Não use desviadores de explosão em fluxos de ar que tenham carga significativa de pó abrasivo que possa com o tempo erodir a tampa de alívio de pressão.
- c) Não use desviadores de explosão para misturas híbridas cujos vapores inflamáveis excedam o LIE.

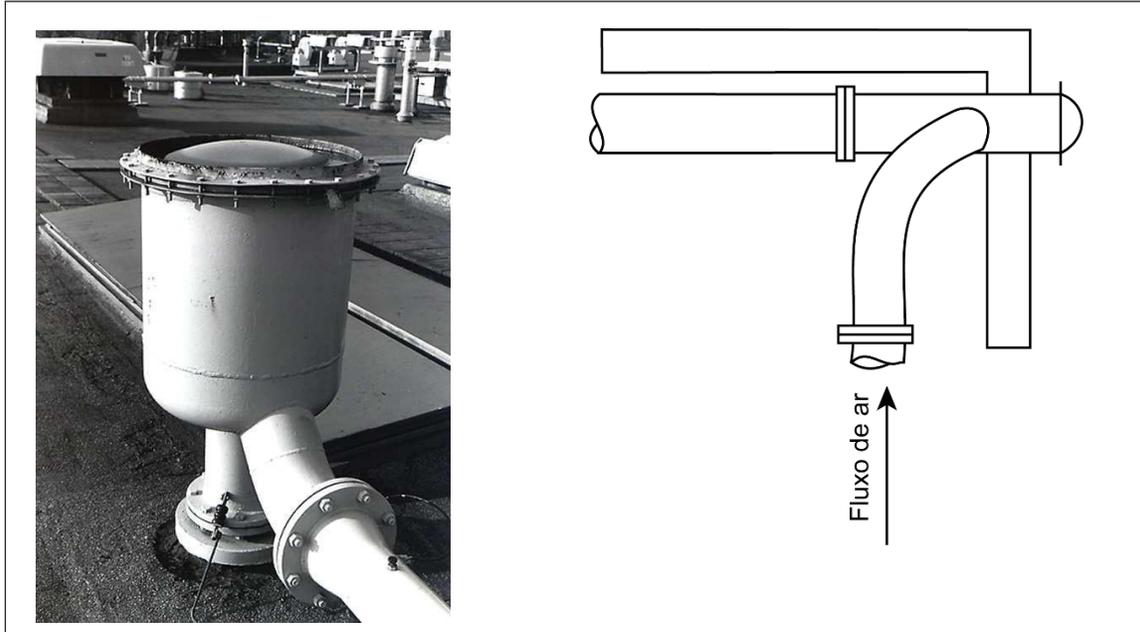


Fig. 6. Desviador de Explosão

Fig. 7. Instalação interna de desviador de explosão

2.3.3.3.6 Válvula de bloqueio de alta velocidade

- a) Acione válvulas de bloqueio de alta velocidade por detecção de pressão ou detecção de explosão por infravermelho no vaso a montante de onde a explosão deve se originar.
- b) Certifique-se de que as respostas do sistema de detecção e da válvula de bloqueio sejam rápidas o suficiente para fechar completamente a válvula de bloqueio antes que a frente de chamas proveniente do pó a alcance.
- c) Certifique-se de que o rearme da válvula de bloqueio seja manual. Rearme automático não é aceitável.

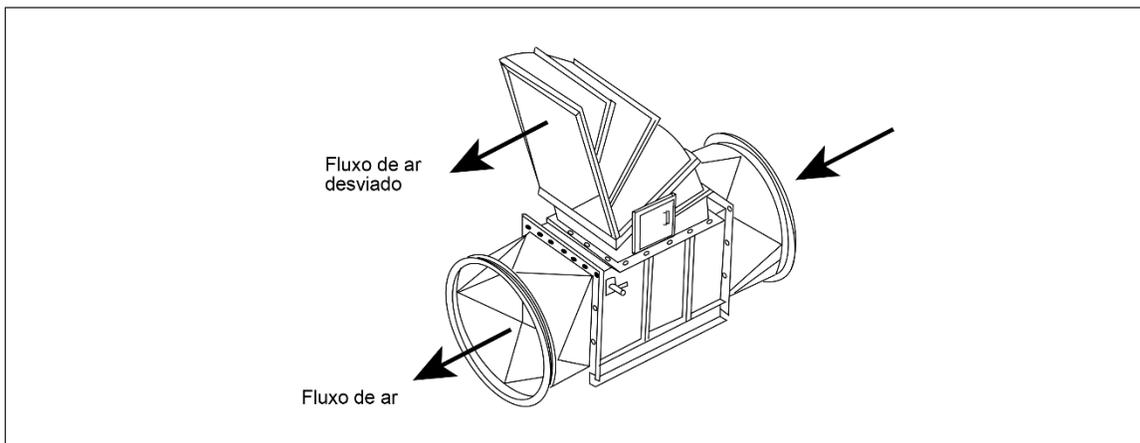


Fig. 8. Válvula de bloqueio de alta velocidade

2.3.3.3.7 Válvula de duplo esvaziamento

Instale intertravamento de forma a garantir que ambas as válvulas não abram simultaneamente.

2.3.3.3.8 Damper basculante para isolamento de explosão

É basicamente uma válvula de retenção que interrompe a propagação da explosão na direção oposta ao fluxo normal. Certifique-se de que o dispositivo tenha alívio de explosão a jusante do fluxo normal no sistema.

2.3.3.4 Supressão

2.3.3.4.1 Se supressão de explosão for o método escolhido de mitigação do risco de explosão:

- a) Instale sistemas de supressão de explosão de acordo com a Norma Técnica 7-17, *Explosion Protection Systems*.
- b) Instale equipamento certificado pela FM Approvals de acordo com os limites de aplicação listados.

2.3.3.5 Contenção

2.3.3.5.1 Se contenção de explosão for o método escolhido para mitigação do risco de explosão, use o método de dimensionamento para resistência a explosão. Vasos existentes resistentes a choques são toleráveis como equipamentos com contenção de explosão.

- a) Vasos têm dimensionamento resistente a explosão se tiverem pressão de projeto de 6 barg (87 psig) e se não apresentarem deformação por explosão de pó a uma pressão inicial (pré-explosão) inferior a 0,1 barg (1,5 psig).
- b) Vasos têm dimensionamento resistente a choques se tiverem pressão de projeto de 3 barg (43 psig) ou mais, e se forem dimensionados de acordo com o ASME *Boiler and Pressure Vessel Code*, Seção VIII, ou limite de elasticidade de 6 barg (87 psig) ou mais, de acordo com outras normas. Com esse dimensionamento, o vaso pode sofrer deformação, mas não ruptura em caso de explosão de pó que ocorra a uma pressão inicial (pré-explosão) inferior a 0,1 barg (1,5 psig).
- c) Para evitar danos a outros equipamentos conectados a montante e a jusante dos vasos protegidos por contenção de explosão, instale isolamento de explosão.

2.3.3.6 Alto Vácuo (3.1.17)

2.3.3.6.1 Quando alto vácuo for o método de redução de risco de explosão escolhido, use os seguintes critérios:

- a) Opere o sistema de manuseio de pó em pressão subatmosférica inferior a 0,1 bar absoluto (1,5 psi absoluto)
- b) Instale intertravamento para inertizar o processo automaticamente ou desligá-lo em caso de perda de vácuo.

2.3.4 Controle de fontes de ignição

2.3.4.1 Quando um processo ou sistema tiver uma alta frequência de explosões de pó, promova as seguintes ações:

- a) Opere o equipamento que é a fonte de fagulhas ou partículas quentes/incandescentes em atmosfera inerte, OU
- b) Instale um sistema de detecção de fagulhas combinado com um sistema de extinção de fagulhas ou uma válvula de bloqueio de alta velocidade, E
- c) Instale o sistema de extinção de fagulhas ou a válvula de bloqueio de alta velocidade a montante do primeiro equipamento que tenha risco de explosão, E
- d) Na ativação do sistema de detecção de fagulhas, desligue qualquer equipamento de coleta de pó conectado.

A instalação do controle de fagulhas, como mencionado acima, não elimina a necessidade de recursos de redução de riscos de explosão (3.1.18).

2.3.4.1.1 Os processos a seguir são considerados como tendo alta frequência de explosões de pó:

- a) Indústria madeireira: secadores rotativos, secadores por atomização, lixadoras, equipamento de fresagem de aglomerado (Consulte a Norma Técnica 7-10, *Wood Processing and Woodworking Facilities*, para obter requisitos adicionais de proteção contra incêndio e explosão relacionados a esse setor.)

- b) Qualquer equipamento de moagem mecânica acoplado a outros equipamentos, como um ciclone a jusante (Exceções: Pulverizadores de carvão e moinhos de produtos alimentícios para seres humanos não são considerados como tendo alta frequência de explosões para as finalidades desta recomendação.)
- c) Processos que normalmente produzam fagulhas ou brasas (por exemplo, por atrito ou trituração) que possam ser admitidos em sistemas de coleta de pó
- d) Qualquer processo ou sistema que tenha sofrido duas ou mais explosões em um período de 10 anos

2.3.4.2 Para minimizar a possibilidade de ignição de nuvem de pó devido a acúmulo e descarga de eletricidade estática, implemente o seguinte:

- a) Implemente todas as recomendações aplicáveis da Norma Técnica 5-8, *Static Electricity*, para minimizar a probabilidade de ignição.
- b) Se possível, utilize dutos e tubulações metálicos, devidamente aterrados e conectados, para transferir pó combustível.
- c) Se forem utilizados dutos ou tubulações de plástico para transferir material, o aterramento e continuidade elétrica não serão eficazes devido às propriedades isolantes do plástico. No entanto, se componentes condutores ou metálicos estiverem presentes nesses sistemas, por exemplo, tubo ou mangueira plásticos conectados a tubulação metálica, esses componentes condutores deverão ter aterramento e continuidade elétrica adequados.
- d) Se os materiais entrarem em ignição muito facilmente (energia de ignição mínima inferior a 10 mJ), considere as seguintes opções para reduzir a probabilidade de ignição por estática:
 1. Opere equipamentos que apresentem perigo de explosão em ambiente inerte (veja item 2.3.2.4) (3.1.19).
 2. Opere a uma pressão inferior a 0,1 bar absoluto (1,5 psi absoluto).
 3. Elimine a mistura ignífera operando a no máximo 50% da concentração mínima explosiva (CME).
 4. Reduza a geração ou o acúmulo de energia estática por meio de alterações no processo, como redução da vazão do material transferido.
 5. Instale eliminadores ou neutralizadores de estática. Certifique-se de que eles estejam firmemente fixos, bem aterrados, ajustados adequadamente e mantidos limpos de acúmulos estranhos.
 6. Peça a alguém com experiência para avaliar a situação e desenvolver as ações necessárias de forma apropriada.

2.3.4.3 Instale separadores magnéticos a montante de todos os equipamentos de redução de tamanho como, por exemplo, trituradores, pulverizadores, moinhos de martelo ou outros equipamentos que envolvam impacto mecânico com o material de processo (3.1.20).

2.3.4.3.1 Separadores de outros tipos que não magnéticos (por exemplo, separadores de ar, grelhas, crivos) poderão ser usados se metais não ferrosos ou outros objetos (por exemplo, pedras) puderem entrar no fluxo do produto e introduzir risco de ignição.

2.3.4.4 Ventiladores e sopradores no fluxo de ar com pó podem se tornar fontes de ignição. Instale esses dispositivos conforme recomendado abaixo:

2.3.4.4.1 Em sistemas de pressão negativa, instale o ventilador no lado de descarga (ou seja, lado limpo) do coletor de pó.

2.3.4.4.2 Em sistemas de pressão positiva, instale o soprador a montante do ponto de injeção de pó.

2.3.4.4.3 Se, por motivos de projeto, o ventilador precisar estar no fluxo de ar sujo e se a concentração de pó no ar for maior do que 25% da CME:

- a) Instale ventiladores e sopradores de construção resistente a fagulhas tipo A ou B de acordo com a AMCA 99-0401-86, *Classifications for Spark Resistant Construction*.
- b) Ventiladores e sopradores comuns poderão ser usados em correntes de ar com pó a qualquer concentração se for comprovado em teste que o pó é difícil de incendiar.

2.3.4.4.4 Ventiladores e sopradores comuns poderão ser usados em correntes de ar com pó a qualquer concentração se for comprovado em teste que o pó é difícil de incendiar.

2.3.4.4.5 Sistemas que manipulam pó de madeira podem usar ventiladores comuns a montante de filtros de mangas se um ciclone (coletor primário de pó) for instalado a montante do ventilador.

2.3.4.4.6 Ventiladores e sopradores comuns poderão ser usados se uma válvula de bloqueio de alta velocidade ou um sistema de extinção de fagulhas certificado pela FM Approvals for instalado entre o ventilador e qualquer equipamento importante ou valioso a jusante.

2.3.4.5 Evite que materiais sujeitos a aquecimento espontâneo se tornem uma fonte de início de explosão, implementando o seguinte:

- a) Evite acúmulo em dutos mantendo uma velocidade de transporte suficiente.
- b) Evite acúmulo em equipamentos realizando limpeza frequente.
- c) Não permita que umidade entre em contato com esse material; no entanto, sprinklers automáticos ou sistemas de extinção de fagulhas poderão ser usados em dutos, quando necessário.
- d) Limpe coletores que manuseiem resíduos sujeitos a aquecimento espontâneo diariamente ou conforme necessário para evitar aquecimento e acúmulos perigosos.

2.3.4.6 Evite o uso de acionadores mecânicos com alta rotação ou alta potência, pois eles podem causar ignição do pó devido ao calor gerado por atrito ou fagulhas.

2.3.4.6.1 Use as diretrizes a seguir para determinar a possibilidade de condições perigosas com base na velocidade tangencial (v) do componente rotativo:

- a) Se $v < 1$ m/s (3,3 ft/s): não há perigo de ignição.
- b) Se $1 < v < 10$ m/s, ($3,3 < v < 33$ ft/s): Analise cada condição separadamente, considerando as características específicas do produto e do material, como sua EMI e tamanho das partículas (para cada uma, valores menores tendem a ser mais suscetíveis a ignição).
- c) Se $v > 10$ m/s (33 ft/s): há sempre uma possibilidade de ignição.

Obs.: Para converter rpm em velocidade tangencial, use $v = \text{rpm} \times 2\pi r \times 1/60$, sendo que

v = comprimento (mesmas unidades que r) por segundo

r = comprimento da parte rotativa, do centro do eixo até a ponta externa

2.3.4.6.2 Quando são utilizados equipamentos de alta potência e baixa velocidade, geralmente em operações de moagem, transportadores de parafusos ou misturadores, a possibilidade de aquecimento descontrolado devido ao tempo de residência excessivo, acúmulos em mancais, objetos estranhos, etc., precisa ser levada em conta. Proteja a operação quanto a esta possibilidade usando pinos de cisalhamento, detecção e alarme de sobrecarga, manutenção e limpeza adequadas, telas e separadores.

2.4 Coletores de pó e ciclones

Além dos requisitos apresentados acima e na Norma Técnica 7-73, *Dust Collectors*, a seguir estão alguns requisitos específicos para coletores de pó e ciclones.

2.4.1 Construção e localização

2.4.1.1 Para novas instalações, adote sistemas separados de coleta de pó para cada área de processo para minimizar a chance de uma explosão de pó envolver muitas operações. Por exemplo, para uma operação que envolva cortar madeira em uma área e lixar madeira em outra, cada uma com várias serras e estações de lixamento, dois coletores de pó separados poderão reduzir o tempo de parada de um único evento. Isso será mais confiável do que o uso de dispositivos de isolamento de explosão em todo o sistema de dutos.

2.4.2 Proteção (3.1.21)

2.4.2.1 Ao determinar a área de alívio de explosão para um coletor de pó com elementos filtrantes (por exemplo, bolsas de pano, folhas de filtro de papel ou cartuchos), inclua tanto o lado do ar limpo como o sujo para calcular o volume do coletor.

2.4.2.2 Para coletores de pó com elementos filtrantes, instale os alívios de explosão inteiramente no lado sujo do volume do coletor.

2.4.2.2.1 Se for necessário instalar alguma área de alívio no lado limpo, use a seguinte equação para calcular a área mínima de alívio de explosão que deve ser instalada no lado sujo:

$$A_{v,\text{dirty}, \text{min}} \geq (V_{\text{dirty}}/V_{\text{total}})^{2/3} \times A_{v,\text{total}}$$

onde:

$A_{v,total}$ é a área de alívio total requerida

$A_{v,dirty,min}$ é a área mínima de alívio de explosão que deve estar no lado sujo do coletor de pó

V_{dirty} é o volume do lado sujo do coletor de pó

V_{total} é o volume total do coletor de pó

2.4.2.3 Coletores de pó tipo ciclone podem ser considerados como tendo alívio de explosão adequado sem nenhum alívio de explosão adicional se atenderem a TODOS os seguintes critérios:

- a) O pó que está sendo processado tem um K_{st} de 80 bar m/s ou menos, e
- b) A exaustão vai diretamente para a atmosfera por meio da saída de gás na parte superior do ciclone, e
- c) O diâmetro da saída de gás é pelo menos 45% do diâmetro do próprio ciclone, e
- d) A saída de gases não é obstruída por telas.

1. Um "chapéu chinês" instalado acima do bocal de saída de gás não viola esses critérios, desde que a distância acima do bocal de saída de gás não seja inferior à metade do diâmetro da saída de gás (3.1.22).

2.4.2.3.1 Dimensione o alívio de explosão para todas as outras situações (maior K_{st} , saída de gás de menor diâmetro, saídas de gás com dutos conectados excedendo a relação $L/D = 1$, dutos com curvas, etc.) usando o software DustCalc da FM Global.

2.4.3 Controle de fontes de ignição

2.4.3.1 Coletores tipo filtro de mangas não necessitam de nenhum tipo de mangas "condutivas" para dissipar eletricidade estática.

- a) Quando mangas especiais "condutivas" forem instaladas, mantenha inspeção e manutenção programadas para garantir que as conexões usadas para aterrar as mangas estejam sempre bem fixadas à estrutura do coletor de pó.
- b) Independentemente do tipo de mangas utilizadas, instale uma conexão de aterramento confiável para as gaiolas das mangas (suportes de metal) (3.1.23).

2.4.4 Coletores de pó sem invólucro (3.1.24)

Normalmente, coletores de pó sem invólucro estão localizados na mesma sala que os equipamentos que eles servem.

2.4.4.1 Coletores de pó sem invólucro podem ser usados se atenderem a todos os seguintes critérios:

- a) Eles não são usados com equipamentos que produzem fagulhas, partículas quentes ou incandescentes, como esmeris, lixas, plainas abrasivas ou processos de trabalho a quente.
- b) Eles não são usados em pós de metal.
- c) A sala na qual eles são usados tem sprinklers automáticos projetados para proteger a ocupação predominante.
- d) Cada sistema coletor tem uma capacidade máxima de 140 m³/min (5.000 ft³/min).
- e) O sistema coletor é operado irregular ou ocasionalmente, não sendo utilizado em processos de produção contínuos ou frequentes.
- f) O meio de filtragem não é agitado nem sofre pulsos de pressão para desalojar o pó durante a operação.
- g) A energia mínima de ignição (EMI) dos materiais coletados deve ser superior a 500 mJ.
- h) O pó coletado é removido diariamente ou em frequência suficiente para limitar o volume de pó coletado a menos que 9 kg (20 lb).
- i) Fugas de pó são bem controladas e limitadas a no máximo 2 mm (1/16 in) de espessura dentro de um raio de 3 m (10 ft) do sistema.
- j) Vários sistemas coletores na mesma sala são separados um do outro por, no mínimo, 6 m (20 ft).
- k) Os sistemas coletores são separados de armazenagem combustível ou de qualquer tipo por, no mínimo, 6 m (20 ft).
- l) O meio filtrante deve estar afastado no mínimo 11 m (35 ft) de qualquer chama aberta ou superfície quente capaz de inflamar uma nuvem de pó do material que ele contém.

- m) Ventiladores ou sopradores no fluxo de ar sujo estão instalados de acordo com a Seção 2.3.4.4.
- n) Equipamentos elétricos comuns não podem estar instalados dentro de um raio de 3 m (10 ft) do sistema coletor.
- o) O motor do ventilador ou soprador não localizado no fluxo de ar sujo é adequado para Classe II, Divisão 2 ou Classe III (Zona 22), conforme apropriado.

2.5 Dutos de conexão (3.1.25)

Dutos que conectam equipamentos de processo ou de coleta de pó podem criar uma rota de propagação de uma explosão inicial e podem conter pó suficiente para propagar uma explosão iniciada em seu interior. Esta seção não se aplica a dutos de ar limpo que estejam a jusante de separadores de pó ou a transporte pneumático de materiais de processo em taxas bem superiores à CME (transporte de fase densa).

2.5.1 Ocupação

2.5.1.1 Controle a concentração de pó em um sistema de coleta de fugas de pó de forma a evitar que uma atmosfera explosiva e contínua se desenvolva nos dutos, usando os seguintes métodos:

- a) Quando a taxa de geração de pó for variável, mantenha a concentração média de pó abaixo de 25% da concentração mínima explosiva (CME). Limite taxas máximas de emissão de pó acima de 100% da CME por apenas alguns segundos em todos os momentos.
- b) Se a taxa de geração de pó for estável, sem picos significativos, mantenha a concentração de pó em até 90% da CME.

2.5.1.2 Se a concentração em um duto exceder regularmente a CME, instale proteção para o risco adicional de explosão no duto (2.5.2.3).

2.5.1.3 Em dutos que transportam pós combustíveis, mantenha uma velocidade do ar que exceda a velocidade de deposição do material que está sendo transportado.

Obs.: A velocidade usada para pós industriais típicos (por exemplo, serragem) pode ser de 1.070 a 1.220 m/min (3.500 a 4.000 ft/min). Quando a velocidade de deposição de um material for desconhecida, consulte a Norma Técnica 7-78, *Industrial Exhaust Systems*, para obter recomendações genéricas de velocidade de transporte.

2.5.2 Proteção

2.5.2.1 Em dutos que contenham pó combustível em concentrações que sejam sempre menores do que a CME e que transportem pó em velocidades nas quais a deposição de pó seja improvável, instale dispositivos de isolamento de explosão da seguinte forma:

- a) Em conexões com equipamentos importantes
- b) Em dutos que retornem a edificações que contenham equipamentos caros ou processos importantes que possam ser danificados, ou que possam apresentar fugas de pó.

Se o valor da CME não estiver disponível, uma estimativa de 30 g/m³ (0,03 oz/ft³) poderá ser usada.

2.5.2.2 Configure dutos que contenham pó combustível em concentrações que sempre ou frequentemente excedam a CME, ou que transportem o pó em velocidades nas quais sua deposição possa ser esperada, da seguinte forma:

- a) Instale os dutos externamente.
- b) Instale dispositivos de isolamento de explosão em cada ponto de conexão entre duto e equipamentos.
- c) Proteja o duto de uma explosão que possa se propagar na mistura explosiva por meio de uma das seguintes opções:
 1. Instale alívios para o duto de acordo com a Seção 2.5.2.3.
 2. Dimensione o duto para romper em pressões tão baixas quanto possível, sem exceder 0,3 barg (4,4 psig).

2.5.2.2.1 Quando um duto que contenha pó acima da CME ou transporte pó em velocidade menor do que sua velocidade mínima de transporte precise ser instalado em ambientes internos, tome as seguintes precauções:

- a) Instale dispositivos de isolamento de explosão em cada ponto de conexão entre duto e equipamentos, E
- b) Dimensione o duto para conter a explosão (resistente a choques), OU

c) Instale alívio para o duto de acordo com a Seção 2.5.2.3, mas direcione o alívio para a área externa.

2.5.2.3 Instale alívio de explosão ao longo do comprimento de dutos com base no seguinte:

a) Calcule a distância máxima entre os alívios de explosão (L_{max}) da seguinte forma:

$$L_{max} = 7,5 D^{1/3}, \text{ D e L em m, OU}$$

$$L_{max} = 16,5 D^{1/3}, \text{ D e L em ft}$$

Para dutos não circulares, calcule o diâmetro efetivo para a equação acima da seguinte maneira:

$$D_{eff} = \sqrt{\frac{4A_d}{\pi}}$$

onde: A_d = área transversal do duto (m^2 ou ft^2)

b) Instale uma área de alívio em cada local pelo menos igual à área transversal do duto.

c) Instale um alívio com dimensão total a no máximo dois diâmetros de distância a partir do ponto de conexão do duto ao equipamento.

d) Especifique as pressões de alívio de explosão (P_{stat}) nos menores valores possíveis, não excedendo 0,1 barg (1,5 psig).

e) Instale alívios de explosão em todos os cotovelos e flanges nas extremidades dos dutos (veja a Figura 10).

f) Quando localizados na parte interna, direcione os gases de explosão para fora através de um duto curto (L/D menor ou igual a 1).

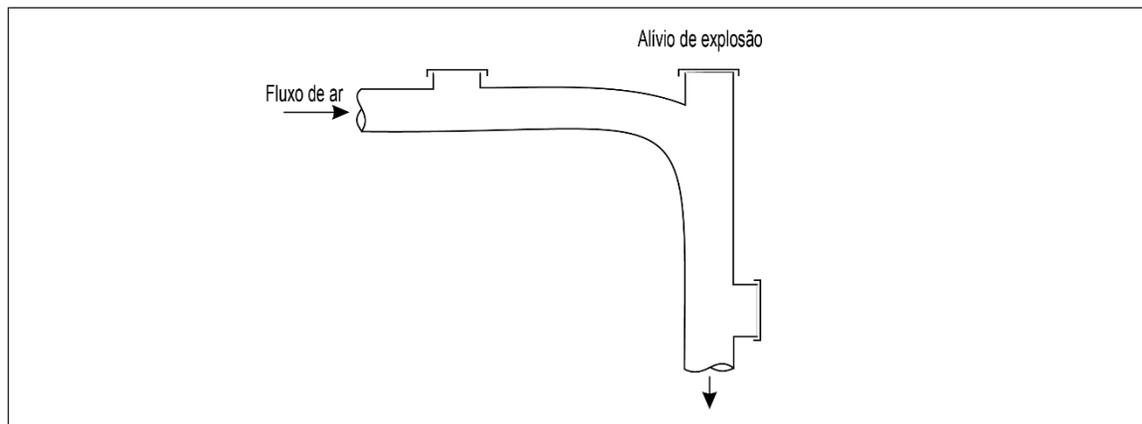


Fig. 9. Exemplo de alívio de explosão de duto em um cotovelo

2.6 Silos (3.1.26)

2.6.1 Proteção

2.6.1.1 Quando um silo de armazenagem de pó tiver coletor de pó (que não seja um simples alívio) no bocal de respiro, instale proteção contra explosão da seguinte forma:

a) Considere a combinação coletor/silo como um único equipamento caso exista uma das seguintes condições:

1. O duto que conecta o silo ao coletor de pó tem uma relação L/D menor que 2, OU

2. A área transversal do duto de conexão é pelo menos tão grande quanto a área de alívio de explosão necessária para proteger o volume do coletor de pó isoladamente.

b) Providencie alívio de explosão para a combinação silo/coletor com base no volume total dos dois equipamentos.

c) Instale parte da área de alívio de explosão no coletor de pó, se possível, mas sem exceder a área transversal do tubo de conexão, embora toda a área de alívio possa estar no silo.

2.6.1.2 Se a combinação coletor de pó/silo não atender aos critérios para ser considerado um único equipamento:

- a) Providencie alívio de explosão para cada componente com base em seus volumes individuais.
- b) Providencie alívio de explosão para o próprio duto de conexão de acordo com a Seção 2.5.2.3.

2.6.1.3 Certifique-se de que a área de alívio de explosão instalada no silo não exceda sua área transversal (A_{x-sect}). Qualquer área de alívio de explosão que exceda esse valor não ajudará a diminuir a pressão de explosão.

2.6.1.3.1 Se os cálculos mostrarem que a área de alívio de explosão necessária é maior que a área transversal, use um sistema de supressão de explosão ou reforce o silo para que ele possa suportar o valor de P_{red} correspondente a $A_v = A_{x-sect}$.

2.6.2 Equipamentos e processos

2.6.2.1 Não use canhões de ar para romper pontes em silos que manipulam materiais combustíveis se houver no material partículas menores que aproximadamente 500 microns.

2.7 Elevadores de canecas (3.1.27)

2.7.1 Construção e localização

2.7.1.1 Elevadores de canecas fechados que manipulam pós combustíveis têm risco de explosão, e devem ser instalados de acordo com uma das condições a seguir:

- a) Instale os elevadores de canecas em ambientes externos.
- b) Instale elevadores de caneca em ambientes internos adjacentes a paredes externas para que o alívio de explosão possa ser direcionado para o ambiente externo por meio de dutos curtos.
- c) Instale um sistema de supressão de explosão ou alívio de explosão com abafadores de chama (tubos de abafamento) certificados pela FM Approvals em elevadores de canecas localizados em ambientes internos.

2.7.1.2 Caso seja adicionado revestimento no interior de um elevador de canecas para resolver problemas de erosão localizados, utilize materiais incombustíveis.

2.7.2 Proteção

2.7.2.1 Para elevadores de canecas enclausurados que manuseiam pó com K_{st} menor de 200, instale alívio de explosão com base no seguinte:

- A. Instale painéis de alívio de explosão ao longo da altura do elevador de canecas com distância de centro a centro de acordo com a Tabela 2 com base no tipo de elevador, K_{st} e P_{red} do invólucro.
- B. Direcione o alívio de explosão de elevadores internos para o exterior por meio de dutos retos curtos (com menos de 1 m [3 ft]) ou instale dispositivo de alívio corta-chamas certificados pela FM Approvals.
- C. Os painéis de alívio de explosão podem ser instalados nas laterais ou na parte frontal do invólucro do elevador.
- D. Instale painel de alívio de explosão na cabeça do elevador com área de alívio equivalente à área transversal da estrutura do elevador.
- E. Instale o primeiro painel de alívio tão próximo quanto possível do pé do elevador, mas sem exceder a separação especificada na Tabela 2.
- F. Dimensione os painéis de alívio de explosão com área equivalente à área transversal do invólucro do elevador. A área de alívio pode ser instalada com dois painéis separados, cada um com metade da área total, localizados em lados opostos do invólucro.
- G. Instale painéis de alívio de explosão em ambas as pernas de subida e descida em elevadores que as tenham instaladas separadamente.
- H. Especifique a pressão de alívio de explosão (P_{stat}) em 0,1 barg (1,5 psig) ou menos e construa os painéis de alívio com material leve.

Tabela 2. Alívio de explosão em elevador de canecas

Tipo de elevador de canecas	K_{St} (bar-m/s)	Separação, m (ft)		
		$P_{red} \leq 0,2$ bar	$0,2 < P_{red} \leq 0,5$ bar	$< 0,5 P_{red} \leq 1,0$ bar
Invólucros duplos	<100	20 (6)	Não requerido	Não requerido
	100-150	10 (3)	33 (10)	62 (19)
	151-175	N/A	13 (4)	26 (8)
	176-200	N/A	10 (3)	13 (4)
Invólucro único	<100	N/A	Não requerido	Não requerido
	100-150	N/A	23 (7)	46 (14)
	151-175	N/A	13 (4)	16 (5)
	176-200	N/A	10 (3)	13 (4)

Obs.: N/A = Não permitido

A menos que tenha sido especialmente projetado, considere a $P_{red} = 0,2$ bar.

2.7.2.2 Se a cabeça ou o pé do elevador forem conectados a equipamentos ou áreas com risco de explosão, instale um sistema de bloqueio de explosão usando dispositivos de supressão de explosão ou outros tipos de barreiras físicas, tais como válvulas rotativas, entre a cabeça ou o pé e áreas ou equipamentos adjacentes.

2.7.2.3 Proteja elevadores de canecas usando sprinklers automáticos da seguinte forma:

- Na parte superior da perna vertical do elevador de canecas, se o invólucro não for combustível. Se o invólucro for construído com materiais combustíveis, instale proteção adicional com sprinklers automáticos ao longo da perna (ou seja, trate-a como uma perna vertical com laterais combustíveis), espaçados entre 3 m e 3,7 m (10 ft a 12 ft).
- Projete os sprinklers automáticos para fornecerem uma vazão mínima de 95 L/min (25 gpm) a partir do sprinkler mais remoto.
- Quando os sprinklers estiverem em áreas sujeitas a congelamento, certifique-se de que a instalação seja adequada para as temperaturas esperadas.

2.7.3 Controle de fontes de ignição

2.7.3.1 Para evitar a ocorrência de explosões em elevadores de canecas:

- Instale um dispositivo mecânico ou eletromecânico nos elevadores movidos por correia que desligue a energia do motor do elevador e dispare um alarme sonoro caso a correia tenha a velocidade reduzida em mais de 20%.
- Não instale nem exponha mancais dentro do invólucro do elevador.
- Instale intertravamento que pare o elevador em caso de desalinhamento da correia.

2.7.3.2 Use as seguintes medidas preventivas quando possível:

- Use mancais antiatrito em todas as pernas do elevador.
- Mantenha todos os mancais de acordo com as recomendações do fabricante e mantenha-os livres de pó, produtos e lubrificação excessiva.
- Limite o uso de revestimentos combustíveis (por exemplo, plástico, borracha, madeira) em pontos de impacto, superfícies de desgaste e canecas conectadas.
- Instale correias de transmissão (por exemplo, correias em V, correias sincronizadoras e correias lisas) que sejam eletricamente condutivas a 1 megaohm ou menos, e também resistentes a fogo e óleo.
- Dimensione o sistema de tração com um fator de serviço de 1,5 para poder parar o acionamento sem deslizamento.
- Instale correias nas pernas dos elevadores que tenham resistividade elétrica superficial inferior a 100 megaohm por quadrado e que sejam resistentes a fogo e óleo (resistência a óleo não é requerida para moinhos de farinha).
- Instale monitoramento da temperatura dos mancais ou detecção de vibração nas pernas de elevadores instalados internamente a edifícios quando a velocidade das correias exceder 2,6 m/s (500 ft/min).

2.8 Secadores por atomização

2.8.1 Proteção

2.8.1.1 Secadores por atomização geralmente operam com sua maior parte em concentrações menores do que a CME. Instale proteção contra explosão de acordo com estas orientações:

- a) Obtenha cálculos precisos para confirmar se a concentração média de pó na parte cilíndrica do secador está abaixo da CME do material manuseado. Com base nisso, somente a seção cônica na parte inferior do secador e equipamentos a jusante (por exemplo, ciclones, filtros de manga) têm mistura explosiva.
- b) Use o software DustCalc da FM Global para determinar a área de alívio de explosão necessária nos casos em que exista uma nuvem combustível em apenas uma fração do volume total do vaso.
- c) Distribua os alívios de explosão uniformemente por toda a superfície do secador, embora se recomende que os alívios sejam instalados apenas próximo à seção cônica.

2.8.1.2 Para proteção contra incêndio, consulte a Norma Técnica 6-9, *Industrial Ovens and Dryers, Seção Spray Dryers Handling Dust*.

2.9 Manipulação de grãos crus a granel

2.9.1 Equipamentos e processos

2.9.1.1 O manuseio de grãos a granel apresenta risco de explosão de pó, que pode ser controlado ou eliminado caso as seguintes ações sejam implementadas:

- a) Use névoa de óleo (ou outro líquido) para supressão do pó, de forma a reduzir o risco de explosão de pó em salas ou edificações e equipamentos usados no manuseio de grãos crus a granel.
 1. O risco de explosão poderá ser considerado eliminado nos ambientes caso a névoa de óleo possa reduzir com êxito as fugas de pó a quantidades tais que ações de organização e limpeza normais mantenham os acúmulos de pó abaixo de níveis perigosos. (Consulte a Seção 2.2.4.2 para determinar quando o acúmulo de pó está em níveis perigosos.)
 2. O risco de explosão poderá ser considerado eliminado de um equipamento se a névoa de óleo puder evitar que qualquer pó fique suspenso no interior do equipamento. Confirme isso observando visualmente o equipamento em operação (ou seja, abrindo as portas de acesso ou inspeção). A eliminação total de pó suspenso no ar dentro de equipamentos de processo só pode ser feita por meio da aplicação completa de névoa em todo o material que está sendo manuseado.
- b) Aplique o óleo ou outro líquido para supressão nos grãos em um ponto do processo que apresente turbulência substancial, por exemplo, em uma calha de descarga, para garantir que o líquido supressor seja totalmente misturado aos grãos.
 1. Não aplique supressor em elevadores de canecas, pois isso pode fazer com que as correias de borracha patinem, causando possível aquecimento por atrito.
- c) Desenvolva um programa de manutenção e inspeção para garantir que o sistema de supressão de pó esteja funcionando corretamente sempre que grãos sejam manuseados.
- d) Instale um intertravamento que interrompa o manuseio de grãos em caso de mau funcionamento do sistema de supressão do pó quando esse sistema for o único meio de proteção contra explosão.

2.10 Manufatura aditiva (impressão 3D) (3.1.29)

A maioria dos processos de manufatura aditiva usa pós muito finos de materiais como metal, plástico, cerâmica ou vidro. Pós finos podem se dispersar facilmente no ar e pós de metal combustíveis podem apresentar baixa energia de ignição. O equipamento geralmente é caro e requer utilidades dedicadas, portanto pode estar localizado em áreas, salas ou edificações exclusivas. As orientações a seguir são fornecidas para processos de manufatura aditiva que usam pós combustíveis.

2.10.1 Implemente proteções básicas relacionadas a manuseio e armazenagem de pós combustíveis.

2.10.1.1 Em particular, aterre e conecte todos os equipamentos que processam pós combustíveis finos, pois eles podem ser especialmente suscetíveis a ignição estática.

2.10.2 Instale equipamentos para manufatura aditiva em áreas segregadas de outras áreas fabris ou de armazenagem por meio de espaço livre, de paredes ou edifício segregado.

2.10.3 Armazene, manuseie e transporte pós em recipientes fechados e condutores.

2.10.4 Se pós com EMI menor que 10 mJ forem armazenados ou manuseados em recipientes não condutores, use recipientes antiestáticos. Os materiais considerados antiestáticos apresentam resistividade superficial entre 10^5 e 10^9 ohms/quadrado (NFPA 77).

2.10.5 Onde pós sejam manipulados ou transferidos, controle a liberação não intencional de pós e a formação de nuvens suspensas, e mantenha um alto nível de organização e limpeza geral.

2.10.6 Onde tubulações forem usadas para transportar pós, controle o acúmulo de estática por meio de aterramento e conexão elétrica a uma conexão à terra com resistência máxima de 1 megohm.

2.10.7 Se operar equipamentos de manufatura aditiva em atmosfera inerte, faça o seguinte:

A. Opere a menos do que a concentração limite de oxigênio (CLO) do pó medido com o gás que está sendo usado.

1. Se a CLO for igual ou maior que 5%, mantenha uma margem de segurança de pelo menos 2% em volume abaixo da CLO.

2. Se a CLO for inferior a 5%, opere o equipamento a no máximo 60% da CLO.

B. Monitore a concentração de gás inerte ou oxigênio.

C. Intertrave o sistema de forma a prevenir sua partida sem que haja um nível aceitável de inertização.

D. Desligue o sistema quando níveis seguros de gás inerte ou oxigênio forem excedidos.

2.10.8 Processe o produto completo (coleta) de forma a minimizar ou controlar a liberação do pó residual da seguinte forma:

A. Certifique-se de que os operadores estejam devidamente aterrados antes de abrir o compartimento de impressão.

B. Realize a limpeza do excesso de pó do produto em uma capela ou compartimento adequadamente ventilado com um sistema de coleta de pó devidamente dimensionado.

2.10.9 Certifique-se de que aspiradores de pó portáteis usados para limpeza do excesso de pó sejam classificados para uso em área Classe II, Divisão 2 ou Zona 22, e que os componentes localizados dentro de compartimentos que contêm pó combustível sejam classificados como Classe II, Divisão 1 ou Zona 20.

2.10.9.1 Use aspiradores de pó portáteis certificados por um organismo certificador confiável.

2.10.10 Para áreas fabris e de armazenagem construídas com material combustível ou ocupação que contenha materiais combustíveis, instale proteção por sprinklers dimensionada para ocupação metalúrgica, HC2.

2.10.11 Onde forem manuseados ou armazenados pós de metal combustível, instale extintores portáteis para classe de fogo D e treine a equipe em seu uso adequado.

2.11 Risco de incêndio em pós

Além do perigo de explosão abordado neste documento, pós combustíveis podem apresentar risco de incêndio que deve ser controlado. As seguintes normas técnicas tratam de proteção e prevenção de incêndios em pós em vários equipamentos ou processos:

a) No interior de secadores por atomização: Norma Técnica 6-9, *Industrial Ovens and Dryers*

b) Instalações de processamento e trabalhos em madeira: Norma Técnica 7-10, *Wood Processing and Woodworking Facilities*

c) Coletores de pó: Norma Técnica 7-73, *Dust Collectors and Collection Systems*

d) Instalações para manuseio de grãos: Norma Técnica 7-75, *Grain Storage and Milling*

e) Dutos: Norma Técnica 7-78, *Industrial Exhaust Systems*

f) Armazenamento de pó de madeira: Norma Técnica 8-27, *Storage of Wood Chips*

3.0 SUPORTE PARA RECOMENDAÇÕES

3.1 Comentários e suporte técnico

3.1.1 Existe algum problema de organização e limpeza geral? (2.2.4.2)

A regra fundamental é que qualquer acúmulo de pó fora de equipamentos apresenta possibilidade de explosão secundária e deve ser removido, e a fonte da liberação deve ser eliminada. Providencie CLD para áreas sujeitas a tais liberações não controladas que não possam ser resolvidas.

Como regra geral, 2 mm ($\frac{1}{16}$ in) de pó já é motivo para limpeza. (Isso pressupõe pó de madeira com densidade aparente aproximada de cerca de 580 kg/m³ [36 lb/ft³]). Isso é aproximadamente a espessura de uma moeda de 25 centavos de dólar.

Onde pós com densidades aparentes diferentes forem usados, a espessura da massa equivalente de 2 mm ($\frac{1}{16}$ in) de pó de madeira seria inversamente proporcional a suas densidades aparentes. Por exemplo, para um pó com densidade aparente de aproximadamente 950 kg/m³ (60 lb/ft³), uma camada de cerca de 1 mm (0,04 in) de espessura seria equivalente.

Espessura equivalente = 2 mm x (580 kg/m³/950 kg/m³) ou 1 mm

Qualquer acúmulo de pó em uma sala pequena (19 m², 200 ft²) representaria um risco de explosão secundária grave. Em uma sala maior, por exemplo, 1.860 m² (20.000 ft²), pó cobrindo uma área de 19 m² (200 ft²) seria um evento menos grave.

Para fins práticos, alguns acúmulos de pó em pequenas partes de áreas grandes sem CLD podem ser considerados toleráveis com limpeza frequente e ações para remoção da fonte de pó. Considere 5% da área com espessura de 2 mm ($\frac{1}{16}$ in) de pó capaz de ser suspenso no ar como o limite "tolerável". Em qualquer construção comum, qualquer área com acúmulo de pó que ultrapasse cerca de 93 m² (1.000 ft²) é considerada inaceitável.

Qualquer pó que esteja acima do nível do piso em terças, vigas, topos de equipamentos, etc. deve ser considerado como potencialmente sujeito a ser suspenso no ar. O pó que ficou aglomerado por ação do tempo, calor, umidade, etc. não deve ser considerado capaz de ser colocado em suspensão, mas pode sugerir um problema contínuo de limpeza ou fonte de liberação não controlada. O pó no chão pode ser suspenso, mas apresenta risco menor do que pó em locais elevados.

Preste muita atenção no pó que adere às paredes, pois ele pode ser facilmente deslocado. Considere também outras projeções, como luminárias, que podem fornecer superfícies para acúmulo de pó.

A área superficial disponível para depósitos de pó em treliças ou vigas metálicas pode ser estimada em cerca de 5% da área do piso. No entanto, algumas vigas metálicas podem ter área superficial equivalente a 10% da área do piso, quando os vãos entre as colunas são maiores que a média para uma determinada área geográfica, ou quando grandes diferenças de elevação entre setores da edificação criarem a necessidade de estruturas de telhado mais robustas por conta de acúmulo de neve.

A título de referência, seguem algumas densidades aparentes típicas:

Tabela 3. Densidades aparentes típicas de pós

Material	lb/ft ³	kg/m ³
Carvão betuminoso com partículas menores que 420 microns	50	800
Farinha de trigo	35-40	560-640
Amido	25-50	400-800
Enxofre em pó	50-60	800-960
Serragem de madeira	16-36	260-580

Fonte: Anexo D, Referência 15

3.1.2 Transferência do risco de explosão para ambientes externos (2.3.1.1)

Um impedimento frequente quanto a localização de equipamentos de manuseio de pó em ambientes externos é de que condensação se formará nas paredes internas do vaso em baixas temperaturas e introduzirá umidade no fluxo de pó. A umidade pode ser um problema de processo se isso causar aglomeração de partículas ou produto fora das especificações. Pode ser um perigo com materiais sujeitos a aquecimento espontâneo. A umidade pode ser eliminada com a instalação de isolamento nos equipamentos que trabalham com pó. No entanto, os painéis de alívio de explosão devem abrir corretamente sem serem afetados pela capa do isolamento. Há dispositivos de alívio de explosão pré-fabricados do tipo painéis de ruptura com núcleos isolados com espuma para evitar condensação no interior do painel.

Não é necessário aplicar isolamento adicional sobre esse alívio, garantindo assim que o isolamento não atrapalhe sua operação.

3.1.3 Inertização (flegmatização) (2.3.2.3)

Pós combustíveis e incombustíveis devem ser bem misturados para criar um produto seguro não explosivo. Normalmente, é necessário que o pó inerte varie de 50% a 75% por peso do total.

Carbonatos, fosfatos e sais às vezes são usados para inertização. Na mineração de carvão, pó de rocha é usado porque há fornecimento abundante. Infelizmente, nenhuma correlação matemática pode prever a concentração limite de pó inerte requerida. Todas as misturas devem ser testadas para verificar sua inertização.

3.1.4 Determinação dos efeitos de explosões por meio de software da FM Global - DustCalc (2.3.3.1)

Muitas recomendações sugerem o uso do software DustCalc da FM Global para quaisquer cálculos que envolvam a previsão das pressões de explosão com base nas especificações de uma determinada situação. Esse é um sistema proprietário e especializado desenvolvido pela FM Global, e que considera as variáveis listadas abaixo para calcular os diversos efeitos de explosão. Os modelos matemáticos se baseiam em anos de pesquisa realizada pela FM Global e outros relativos a explosões de pó. Algumas das relações foram compartilhadas com a NFPA e foram adotadas em parte na NFPA 68, desde a edição de 2002. Para obter todas as vantagens dos métodos da FM Global, use o software DustCalc.

As variáveis do vaso que terão impacto sobre os efeitos de explosão são as seguintes:

- Volume do vaso (V)
- Constante de explosividade do pó (K_{St}) e pressão máxima não ventilada (P_{max})
- Área de alívio de explosão (A_v)
- Pressão de alívio de explosão (P_{stat})
- Massa e orientação do painel de alívio de explosão
- Comprimento (L_d) e área transversal (A_d) do duto de alívio de explosão, se houver
- Fração do volume do vaso que contenha uma mistura explosiva
- Pressão de pré-explosão do equipamento (P_0)

Esta norma técnica não inclui nenhuma equação de dimensionamento de alívios de explosão, nem apresenta resultados de testes de pós para caracterizar materiais testados anteriormente. Primeiro, as correlações matemáticas desenvolvidas pela FM Global para prever o resultado de explosões são complexas e seria difícil aplicá-las usando apenas uma calculadora. Isso poderia facilmente causar erros de cálculo. Dados genéricos podem ser úteis para avaliação preliminar de sistemas de alívio existentes, mas os dados para o pó específico que está sendo processado podem ser diferentes, e somente dados de teste especificamente desenvolvidos devem ser usados em projetos.

O software DustCalc está disponível em todos os escritórios da FM Global no mundo, mas seu uso é limitado a funcionários que foram treinados em suas bases e aplicação. Isso garantirá que os resultados obtidos reconheçam todos os fatores que são importantes no projeto.

Uma descrição detalhada do trabalho analítico e experimental que levou à metodologia da FM Global foi publicada em artigo técnico em edição especial sobre explosão de pós do no periódico Journal of Loss Prevention in the Process Industries (1996). Consulte o Anexo C para obter uma referência detalhada sobre o artigo.

A FM Global não adotou os métodos de cálculo da VDI alemã (Verein Deutscher Ingenieure), VDI 3673. Como grande parte dos dados usados para criar a diretriz do VDI foi aplicada no desenvolvimento da diretriz da FM Global, em muitos casos as respostas do DustCalc e do VDI serão semelhantes. No entanto, devido a melhorias feitas nos métodos do VDI pela FM Global, além de outras ferramentas de cálculo desenvolvidas ou aprimoradas pela FM Global, o software DustCalc ampliou os recursos do VDI.

Para a versão de 2002 da NFPA 68, a FM Global submeteu, e o comitê da NFPA aceitou muitas, mas não todas, as equações e os métodos da FM Global. A implementação inclui diversas equações e nomografias. A edição de 2007 mantém muitos dos mesmos métodos, mas com alguns ajustes adicionais.

Outra grande diferença em relação à NFPA 68-2007 foi alterar o documento de diretriz para norma. A norma está atualizada em uma linguagem que pode ser adotada legalmente pelas autoridades competentes. Quando apresentada como diretriz, nenhuma autoridade competente poderia incorporar os requisitos aos seus regulamentos.

O software DustCalc também pode fornecer soluções baseadas nos métodos da NFPA ou do VDI, e indicará onde e muitas vezes por que há diferenças em relação ao método da FM Global.

3.1.5 Dispositivos de alívio corta-chamas (2.3.3.1.2)

Um dispositivo de alívio corta-chamas (tubo de abafamento) (Fig. 10) é como um abafador de chama instalado em um alívio de explosão com disco de ruptura. Ele também é chamado de "alívio de explosão corta-chamas" ou de "dispositivo abafador de chamas e de retenção de partículas" (NFPA). Devido ao componente de supressão de chamas, há uma redução na área efetiva de alívio em comparação com um alívio aberto.

Quando se utilizam dispositivos de alívio corta-chamas, há uma série de fatores que precisam ser considerados: K_{st} de pó, P_{max} e a concentração do pó (c_{st}) se forem medidos, tipo de pó, fator de eficiência (η_{total}) e volume máximo protegido (VMP).

K_{st} e P_{max} (ST-1, 2) são os únicos fatores usados para determinar a área de alívio do vaso protegido.

O tipo de pó (sem derretimento, com derretimento ou fibroso) afeta o fator de eficiência do dispositivo de alívio corta-chamas. Atualmente, não há dispositivos certificados pela FM Approvals para uso com pós metálicos.

O fator de eficiência (η_{total}) é a fração numérica (0,99 ou menos) que representa o valor efetivo da área de alívio após contabilizar o impacto dos componentes de supressão de chamas do dispositivo. Nas listas do *Approval Guide*, ele é representado principalmente pela "Área efetiva de alívio". Nos padrões europeus EN, ele é apresentado como "Eficiência (E_f)". Sua metodologia para calcular a eficiência é diferente daquela usada nos testes da FM Approvals.

A área efetiva de alívio (EVA) é a área de alívio utilizável após considerar o fator de eficiência. A EVA só pode ser determinada por meio de testes.

O volume máximo protegido (VMP) é limitado pela carga de pó no dispositivo, $m''_{st,max}$, a carga de pó por área nominal de alívio (g/cm^2 , lb/in^2). Essa carga está diretamente relacionada à concentração nominal de pó usada no teste de aprovação (g/m^3 , lb/ft^3). Essas são apenas duas maneiras diferentes de representar a quantidade de pó que entra no dispositivo de alívio corta-chamas.

A massa de pó enviada para o dispositivo de alívio corta-chamas está relacionada à concentração de pó e ao volume do vaso de teste (ou protegido).

Se houver mais pó no vaso, isso afetará a matriz de supressão, reduzindo a eficiência. Se a carga for alta o suficiente, poderá causar falha no dispositivo de alívio corta-chamas. O VMP é baseado na carga de pó usada no teste de aprovação.

Para aplicações reais, a carga de projeto é baseada no c_{st} do pó usado no projeto de dimensionamento do alívio. c_{st} é a concentração, determinada por testes, em que ocorrem K_{st} e P_{max} . Na prática, o VMP pode precisar ser ajustado se a c_{st} for diferente da carga de pó usada para o teste. O fator de ajuste é:

$$V_{max2} = V_{max1} (c_{st1} / c_{st2}) \text{ sendo que:}$$

V_{max1} = é o VMP listado.

V_{max2} = é o volume corrigido para c_{st} .

c_{st1} = é a concentração usada nos testes da FM Approvals.

c_{st2} = é a concentração do pó de projeto determinada por teste.

Para escolher o dispositivo de alívio corta-chamas adequado, calcule a área de alívio necessária para a aplicação e, em seguida, use a "Área de alívio efetiva" na lista do *Approval Guide* para selecionar o dispositivo que forneça pelo menos a área de alívio necessária. Isso pode exigir um ou mais dispositivos.

Além disso, o(s) dispositivo(s) selecionado(s) não deve(m) exceder o VMP. Se vários dispositivos forem usados para fornecer o alívio necessário, o VMP de cada dispositivo poderá ser adicionado para determinar o VMP total. Por exemplo, se dois dispositivos cada um com um VMP de 3,1 m³ (110 ft³) forem utilizados, o volume do vaso a ser protegido será limitado a 6,2 m³ (220 ft³).

À medida que a explosão é aliviada através do dispositivo de alívio corta-chamas, todo pó queimado ou não queimado é retido, os gases de combustão são resfriados e nenhum rastro de chama sai do tubo de abafamento. Além disso, os efeitos da explosão (sobreprensão) nas proximidades do alívio são bastante reduzidos. Assim, o dispositivo de alívio corta-chamas pode ventilar com segurança

uma explosão para o interior sem medo de inflamar combustíveis próximos ou criar uma pressão prejudicial na sala. No entanto, os gases de saída são quentes (aproximadamente 100°C [212°F]).

O efeito real da pressão dos gases liberados pode ser estimado de forma conservadora com base em uma temperatura aproximada de saída de gás de 100°C (212°F) e na seguinte equação:

$$\Delta p = 1.74 p_0 \frac{V_1}{V_0}$$

onde:

V_0 é o volume da edificação (m³ ou ft³)

V_1 é o volume do equipamento ventilado (m³ ou ft³)

p_0 é a pressão ambiente absoluta (1,01 bara ou 14,7 psia)

Δp é o aumento de pressão criado pelos gases ventilados (psi ou bar)

Por exemplo, se o volume do equipamento for 1/100 do volume da edificação, V_1/V_0 é 1/100, o aumento da pressão será de cerca de 0,26 psi (18 mbar, 1,8 kPa). Isso não causaria nenhum dano significativo à edificação.

A listagem de todos os dispositivos certificados pela FM Approvals inclui sua eficiência de alívio, que é o fator pelo qual a área efetiva de alívio do dispositivo é reduzida. Isso é diferente do cálculo do efeito de pressão acima.

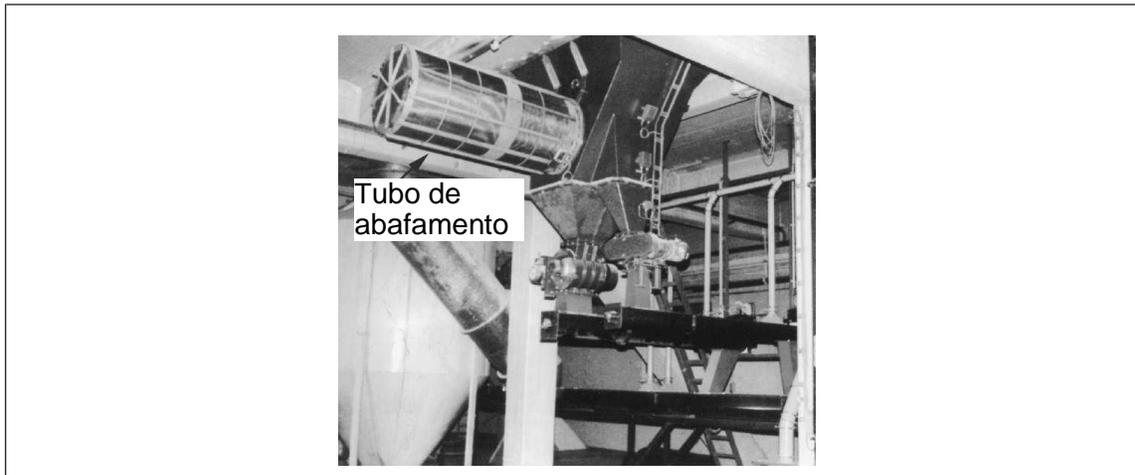


Fig. 10. Dispositivo de alívio corta-chamas certificado pela FM Approvals (foto cortesia da Rembe GmbH)

3.1.6 Resistência de vasos (2.3.3.1.3)

Quando o projeto de alívio de explosão se basear em valores P_{red} que permitem a deformação do vaso, isso evitará falha catastrófica do vaso e permitirá que as forças e os produtos de uma explosão se movam com segurança pelo alívio. No entanto, isso pode fazer com que o vaso fique inadequado para uso futuro.

Se dados sobre resistência dos vasos não estiverem disponíveis e os valores de P_{red} assumidos de 0,2 a 0,3 barg (3 a 4,4 psig) forem usados para dimensionamento do alívio de explosão, então os vasos provavelmente não serão deformados em caso de explosão, se tiverem um projeto típico. No entanto, existe a possibilidade de deformação. As inúmeras variações em projetos de equipamentos podem tornar um vaso mais fraco do que outros vasos aparentemente comparáveis. Na maioria dos casos, os valores assumidos serão suficientemente conservadores para evitar a ruptura do vaso. Estimativas da pressão que um tipo genérico de vaso pode suportar envolvem incertezas. É sempre melhor tentar obter informações de projeto reais para qualquer vaso cuja proteção esteja sendo avaliada ou planejada.

3.1.7 Efeitos da massa do painel de alívio de explosão (inércia) (2.3.3.1.6)

Um painel de alívio de explosão pesado demora mais para sair do caminho do que um painel leve de tamanho semelhante e pode produzir pressões mais altas dentro do compartimento ventilado. Como o retardo é uma função contínua relacionada ao peso do painel, seu efeito precisa ser avaliado sempre que a inércia do painel for maior que zero.

Membranas de ruptura, que normalmente são folhas muito finas de metal ou filme plástico, são dispositivos de inércia zero. No entanto, o efeito de qualquer outro tipo de painel de alívio não pode ser negligenciado e deve ser calculado.

Uma ampla análise de dados experimentais gerados por várias organizações em todo o mundo permitiu que a FM Global correlacionasse os dados com apoio de uma estrutura teórica para produzir uma ferramenta preditiva eficaz.

3.1.7.1 Massa típica de painéis de alívio (inércia)

Veja a seguir exemplos de materiais que podem ser usados como painéis de alívio ou construção de parede e suas massas:

- Painéis metálicos de camada única: 10 kg/m² (2 lb/ft²)
- Painéis tipo sanduíche metálicos: 15 a 20 kg/m² (3 a 4 lb/ft²)
- Explovent certificado pela FM Approvals: 12 kg/m² (2,5 lb/ft²)
- Paineel Kalwall certificado pela FM Approvals: 12 kg/m² (2,5 lb/ft²)

Obs.: Os materiais a seguir têm uma dimensão adicional de cm (in) de espessura.

- Paineel de gesso: 8 kg/m² /cm (4 lb/ft²/in)
- Aço: 77 kg/m²/cm (40 lb/ft²/in)
- Alumínio: 27 kg/m²/cm (14 lb/ft²/in)
- Vidro: 29 kg/m²/cm (15 lb/ft²/in)
- Concreto: 23 kg/m²/cm (12 lb/ft²/in)

3.1.8 Efeito dos dutos de alívio de explosão (2.3.3.1.7)

O efeito do duto de alívio deve ser antecipado no dimensionamento dos alívios de explosão. Colocar um duto na descarga de um alívio de explosão pode afetar significativamente a pressão dentro do compartimento. Dependendo do comprimento e do diâmetro do duto de alívio, o valor de P_{red} pode ser majorado em até uma ordem de magnitude (10 vezes), que geralmente é suficiente para destruir completamente o vaso protegido.

Dois fatores são muito importantes ao considerar o efeito dos dutos de alívio no processo de alívio: (A) combustão do pó dentro do duto durante a explosão e (b) a inércia da massa de ar dentro do duto antes da explosão.

Durante a parte inicial do processo de alívio, o pó não queimado é ejetado para o duto antes da frente de chamas vinda do vaso. Quando a frente de chamas se move para dentro do duto, o pó começa a queimar dentro do duto e a gerar produtos de combustão adicionais. Esses produtos de combustão se expandem em TODAS as direções, reduzindo a velocidade ou até mesmo invertendo o fluxo vindo do vaso, e a pressão aumenta dentro do vaso.

A inércia do ar dentro do duto também aumenta a pressão de explosão dentro do vaso protegido. Quando o alívio de explosão se abre e os gases de combustão começam a fluir para dentro do duto, esses gases devem empurrar todo o ar para fora do duto. Durante o tempo necessário para ejetar o ar, a pressão continua crescendo dentro do vaso, pois os gases de combustão ficam impedidos de atingir a atmosfera aberta. Em um duto longo, essa massa de ar pode atrasar o alívio dos gases de combustão o suficiente para aumentar significativamente a pressão no vaso.

Os efeitos do atrito do gás que flui pelo duto geralmente têm pouco efeito sobre a explosão, exceto possivelmente por cotovelos ou outras descontinuidades geométricas, em comparação aos efeitos da combustão no duto e da inércia do ar descritos acima.

Como o P_{red} sobe acentuadamente conforme o aumento do comprimento do duto de alívio, vasos com baixa resistência geralmente não podem ser protegidos com alívio por dutos caso a relação L/D do duto de alívio exceder um valor de 1 a 2, a menos que o tamanho do alívio seja proporcionalmente aumentado.

Embora a instalação de um duto de alívio de explosão com seção transversal menor que o alívio de explosão aumente o valor de P_{red} (ou seja, crie uma situação pior), o uso de um duto de alívio de explosão com uma seção transversal maior que a área de alívio de explosão não reduzirá o P_{red} .

O software DustCalc da FM Global calcula prontamente os efeitos causados por dutos de alívio.

3.1.9 Painéis de alívio de explosão com fechamento após operação (2.2.3.4 e 2.3.3.1.9)

Depois que a combustão de pó dentro de uma sala ou vaso tiver terminado, e gases não estiverem mais sendo produzidos para gerar pressão, painéis de alívio de explosão que podem ser novamente fechados por gravidade irão operar. Os gases muito quentes provenientes da combustão presos na sala ou no vaso começam a esfriar e, a menos que ar fresco se movimente para o compartimento de forma suficientemente rápida (por exemplo, através de um quebra-vácuo de tamanho adequado), isso produzirá um vácuo. Esse vácuo pode resultar em danos ao vaso ou na implosão do equipamento. Em salas ou edificações, os danos causados pelo vácuo são menos graves, mas ainda possíveis.

3.1.10 Efeitos de pressão e da bola de fogo em uma explosão (2.3.3.1.11)

Uma explosão de pó causa efeitos de sobrepressão e de bola de fogo de curta duração fora do compartimento. Existem estudos limitados que permitem estimar esses efeitos, e as equações sugeridas são mostradas abaixo:

Estime os efeitos da pressão próximos ao alívio e em uma direção normal a ele usando as seguintes equações:

Passo 1: Calcule a sobrepressão máxima ($P_{blast,max}$) gerada pela explosão fora do compartimento ventilado usando a seguinte equação:

$$P_{blast,max} \text{ (barg)} = 0.2 A_v^{0,1} V^{0,18} P_{red}$$

onde

A_v é a área de alívio de explosão, m^2

V é o volume do compartimento ventilado, m^3

P_{red} é a pressão reduzida no compartimento durante o alívio, barg

Passo 2: Calcule a distância perpendicular (R_{max}) da abertura do alívio para $P_{blast,max}$ usando a seguinte equação:

$$R_{max} \text{ (metros)} = 0.25 L_{f,max}$$

Onde

$L_{f,max}$ = comprimento máximo do jato de chama, m

Passo 3: Para distâncias R maiores que R_{max} , calcule a pressão gerada pela explosão para cada distância, por meio da seguinte equação:

$$P_{blast} \text{ (barg)} = (R_{max}/R)^{1,5} P_{blast,max}$$

Obs. 1: Essas pressões calculadas estão localizadas muito próximo da bola de fogo projetada de uma explosão aliviada. Isso não é o mesmo que a pressão total de explosão (P_{red}) criada em toda a sala fechada ou edificação. Em uma edificação grande, essa pressão de choque pode ser a maior pressão que as paredes localizadas perto de equipamentos que explodem sentirão, mas, geralmente, a pressão nas paredes de uma sala que contém o equipamento aliviado depende da quantidade de gases de combustão produzidos pela explosão e ventilados para dentro da sala. Essa pressão é essencialmente uniforme em toda a sala, independentemente da distância das paredes do vaso aliviado.

Obs. 2: As equações para previsão de efeitos de pressão são válidas somente para um único alívio de explosão. Para múltiplas aberturas que se abram na mesma direção, calcule o $P_{blast,max}$ para cada alívio, depois adicione os valores para estimar o efeito conservativo das pressões combinadas.

3.1.10.2 Estime o comprimento máximo do jato de chama em uma direção normal ao alívio usando a seguinte equação:

$$L_{f,max} = 8 V^{(1/3)}$$

onde

$L_{f,max}$ = comprimento máximo do jato de chama, m

V = volume do compartimento ventilado, m^3

Essa equação é válida apenas para pós ST1 (ou seja, $K_{st} \leq 200$) com $P_{red} \leq 1$ barg (14,5 psig) e $P_{stat} \leq 0,1$ barg (1,5 psig). Não há correlações publicadas para situações fora dos limites estabelecidos. Acredita-se que alterações em P_{stat} mudarão o tamanho da bola de fogo prevista; no entanto, os métodos de estimativa atuais não quantificaram esse efeito.

3.1.10.3 Estime a força de recuo de uma explosão usando as seguintes equações (2.3.3.1.18):

a) Para força de recuo dinâmica, use a seguinte fórmula:

$$F_R = 119 A_V P_{red}$$

Unidades: F_R (kN), A_V (m²), P_{red} (barg)

$$F_R = 1,2 A_V P_{red}$$

Unidades: F_R (lb), A_V (in²), P_{red} (psig)

b) Para a duração dessa força de recuo, use a seguinte fórmula (aplica-se somente a compartimentos sem dutos de alívio):

$$t_f = 10^{-4} K_{st} V / (P_{red} A_V)$$

Unidades: K_{st} (bar m/s), V (m³), P_{red} (barg), A_V (m²), 10^{-4} (s² m⁻²) uma constante

c) Como alternativa ao projeto de ancoragem de força dinâmica, use uma força estática equivalente (F_s) calculada pela seguinte fórmula:

$$F_s = 0.52 F_R$$

Unidades: kN ou lb na equação original

O software DustCalc da FM Global calcula prontamente os efeitos causados pela pressão e pelas bolas de fogo.

3.1.11 Obstruções fixas próximas da frente dos alívios de explosão (2.3.3.1.12)

Uma obstrução fixa localizada muito perto da abertura do alívio de explosão de um equipamento cria uma resistência significativa ao fluxo de saída livre de produtos de combustão do equipamento aliviado. Acredita-se que isso seja causado principalmente pela queima de pó após ele ser ejetado do equipamento protegido. Uma vez que a combustão acontece na área parcialmente confinada entre o vaso e a obstrução, ocorre uma condição semelhante a uma explosão secundária. Isso cria efeitos significativos de contrapressão sobre a explosão do equipamento. O conhecimento em relação a esse fenômeno é limitado, e é impossível quantificar seu efeito. Também não é possível fornecer orientações sobre distâncias seguras a obstruções não planas, devido à complexidade dos efeitos de diferentes geometrias que produzem confinamento parcial. A única diretriz segura para esses casos é instalar e direcionar os alívios de explosão de forma que não apontem para superfícies próximas.

3.1.12 Distribuição de alívios de explosão (2.3.3.1.15)

Se um vaso protegido tiver obstruções significativas em seu interior, há dois princípios de explosão que tornam importante instalar alívios bem distribuídos.

Primeiro, se os gases que vão em direção a um alívio de explosão em uma extremidade do vaso tiverem de fluir por áreas obstruídas, os gases não fluirão tão rápido quanto fluiriam se o volume estivesse desobstruído. Por isso, a P_{red} da pressão de explosão ventilada pode subir acima do nível esperado.

Em segundo lugar, se os gases que fluem para o alívio de explosão contornarem obstruções significativas, a turbulência aumentará substancialmente dentro do vaso. Como a taxa de incremento de pressão de uma explosão aumenta com o aumento de turbulência, os obstáculos podem piorar a explosão.

Alívios de explosão distribuídos em todo o invólucro ajudarão a garantir que os gases aliviados durante a explosão saiam do invólucro pelo caminho mais curto.

3.1.13 Pressões operacionais de coletores de pó (2.3.3.1.17)

A faixa de pressão operacional normal para sistemas de coleta e manuseio de pó é de +40 a 40 mbar (+16 in H₂O a 16 in H₂O). Nesta faixa de pressão, não são necessários ajustes nas diretrizes padrão de alívio de explosão.

3.1.14 Isolamento de explosão (2.3.3.2)

Quando ocorre uma explosão em um compartimento protegido por contenção de pressão, tanto a pressão quanto a chama (ou seja, a queima de pó) se propagam por quaisquer dutos abertos e conectados a outro compartimento. Se o segundo vaso também tiver projeto para resistência a pressão, é provável que seja insuficiente devido a um efeito geralmente conhecido como "estaqueamento por pressão". A pressão no segundo vaso aumentará antes de a fonte de ignição (ou seja, material em queima) chegar, uma vez que a perturbação da pressão se desloca do primeiro vaso para o segundo à velocidade do som, que

geralmente é maior do que a velocidade da frente de chamas. Portanto, no momento em que uma explosão de pó ocorre dentro do segundo vaso, a pressão inicial estará bem acima da pressão normal (ambiente).

Para uma determinada relação ar-combustível, a pressão final não aliviada de uma explosão é diretamente proporcional à pressão inicial. Por exemplo, se a primeira explosão pressurizar previamente o segundo vaso a 3 bar (44 psi) absolutos, então a pressão final da explosão no segundo vaso aumentará por um fator de 3. Para um pó com P_{max} de 9 bara, a pressão final não aliviada neste exemplo seria 27 bara, bem acima da resistência até mesmo do vaso mais resistente projetado para contenção da pressão de explosão de pó. Assim, se a contenção de explosão for usada como método de proteção, será importante providenciar isolamento de explosão para evitar pressurização prévia de um vaso por outra explosão.

Quando um vaso protegido por contenção de explosão é conectado a um segundo vaso protegido com alívio de explosão, existe um problema de proteção que não está relacionado à pressurização prévia, mas sim à turbulência criada pela onda de pressão e por uma fonte de ignição muito forte da frente de chamas. O resultado é uma explosão mais rápida no segundo vaso, não contabilizada no projeto de alívio, com probabilidade de falha do segundo vaso.

Esses efeitos ocorrerão em menor proporção se ambos os vasos conectados estiverem protegidos por alívio de explosão.

Assim, se alívio de explosão for usado como método de proteção, será importante providenciar isolamento de explosão para separar o vaso aliviado de qualquer vaso conectado protegido por contenção de explosão.

Sistemas de transporte pneumático de fase densa operam em velocidade de transporte comparativamente baixa (1 a 5 m/s; 200 a 1.000 ft/min), com alta taxa de carga de sólidos e em alta pressão (até 8,6 barg; 125 psig). Devido à alta carga de pó (bem acima da CME), é improvável que eles sejam capazes de propagar a frente de chamas a partir de uma explosão.

Sistemas de transporte pneumático de fase diluída operam em alta velocidade (25 a 40 m/s; 3.000 a 8.000 ft/min), com baixa taxa de carga de sólidos e em baixa pressão (menos de 1 barg; 15 psig).

3.1.15 Sistemas de isolamento (2.3.3.3)

Ao usar dispositivos ativos (em oposição a passivos) para isolamento de explosão, a velocidade máxima na qual a frente de chamas da explosão se deslocará do ponto de detecção até o dispositivo de isolamento é uma consideração importante. A ciência da estimativa da propagação de chamas a partir de explosões de pó gerou muitas publicações, mas não há soluções simples. O fabricante do dispositivo de isolamento terá de fornecer a separação apropriada para esse dispositivo.

3.1.16 Válvulas de boia de ação rápida (2.3.3.3.4)

Esses dispositivos são acionados por meio de pressão diferencial causada pela frente de chamas que está se aproximando ou pela velocidade do gás no duto. Como resultado, a pressão do dispositivo de alívio (P_{stat}) do equipamento que sofre a explosão deve ser alta o suficiente, cerca de 0,2 barg (3 psig), para garantir que a válvula seja acionada. Se uma P_{stat} mais baixa for necessária para proteger o equipamento, um sensor adicional para detecção de explosão e um gás auxiliar serão necessários para acionar a válvula.

Dados sobre o dispositivo Ventex indicam que são necessárias distâncias de separação mínimas e máximas específicas para garantir que o dispositivo feche adequadamente e que não ocorra transição para detonação. Essas distâncias são determinadas por teste, mas são aproximadamente válidas para uma ampla variedade de condições operacionais. Se misturas híbridas estiverem envolvidas, ambas as distâncias serão reduzidas, e o valor exato dependerá do diâmetro da válvula/tubo. Os dados do fabricante devem substituir estas orientações gerais.

As válvulas Ventex são unidirecionais ou bidirecionais, ou seja, serão acionadas a partir de um evento de pressão vindo apenas de uma direção ou de qualquer direção. Uma vez fechadas, elas travam nessa posição e precisam ser reabertas manualmente.

3.1.17 Operação a vácuo (2.3.3.6)

Como a pressão final após uma explosão é proporcional à pressão inicial (pré-explosão), uma explosão de pó que ocorra em um ambiente a menos de 0,1 bara (1,5 psia) produzirá uma pressão absoluta de explosão de menos de 1 bara (14,5 psia). Assim, não existe possibilidade de danos dessa explosão.

Além disso, se um processo operar a uma pressão inferior a 50 mbar (0,73 psi) (absoluto), geralmente, não será possível iniciar uma explosão.

3.1.18 Extinção de fagulhas versus supressão de explosão (2.3.4.1)

Perdas têm revelado que podem existir equívocos quanto às capacidades de um sistema de extinção de fagulhas. Sistemas de extinção de fagulhas são muito eficazes na redução da frequência de explosões de pó combustível. No entanto, eles não afetam a gravidade de uma explosão e não são uma alternativa aos sistemas de alívio, bloqueio ou supressão de explosão.

Um sistema de extinção de fagulhas, também conhecido como sistema de supressão de fagulhas, detecta e apaga fagulhas ou brasas acesas a montante do equipamento de coleta de pó para evitar que essas fontes de ignição se desloquem para o(s) coletor(es) de pó e iniciem uma explosão. O sistema de detecção usa um sensor infravermelho para procurar partículas que passam em temperaturas elevadas. O extintor é um spray de água localizado a jusante do detector.

Espera-se que o detector funcione independentemente do tamanho das partículas quentes que passam por ele. Ele detecta partículas quentes tão pequenas quanto fagulhas ou tão grandes quanto uma peça quebrada de lixadeira de cinta. No entanto, o sistema de extinção poderá não funcionar se as partículas forem grandes. As fagulhas devem se apagar, mas uma peça de grandes dimensões em queima ou em brasas pode não ser apagada, e então uma explosão poderá ocorrer se houver uma nuvem de pó ignífera no equipamento de coleta de pó a jusante.

O sistema de extinção de fagulhas não diminuirá a gravidade da explosão resultante, de modo que o mesmo nível de proteção contra explosão ou mitigação precisa ser providenciado para o equipamento com risco de explosão de pó.

Um sistema de extinção de fagulhas apaga uma fonte de ignição, mas não pode suprimir uma explosão depois que ela tiver começado. Ao evitar que uma nuvem com potencial de explosão entre em ignição, a extinção de fagulhas evita a explosão por completo.

Um sistema de supressão de explosão detecta as fases iniciais de uma explosão e a extingue para evitar que a pressão suba até um nível em que o equipamento possa ser danificado ou destruído.

O sistema de supressão de explosão reduz a gravidade de uma explosão, ao passo que o sistema de extinção de fagulhas só reduz a frequência.

Um sistema de extinção de fagulhas é destinado apenas a eliminar um cenário de ignição: partículas pequenas e quentes transportadas para um coletor de pó, onde uma nuvem de pó combustível pode ser inflamada. Existem outros cenários de ignição que o sistema de extinção de fagulhas não pode influenciar. Por exemplo:

- Lixo metálico (por exemplo, um prego ou parafuso) aspirado para dentro do sistema de coleta de pó. O metal cria fagulhas no atrito com os dutos ou os equipamentos metálicos a jusante do sistema de extinção de fagulhas.
- Fontes de ignição produzidas a jusante do sistema de extinção de fagulhas; por exemplo, superfícies quentes, corte e soldagem sobre/ao redor do equipamento de coleta de pó.

Para a maioria dos processos, o transporte de pequenas partículas quentes do processo de produção de pó para o sistema de coleta de pó é, de longe, a fonte de ignição de explosão de pó mais comum. Os sistemas de extinção de fagulhas instalados podem ser acionados semanalmente ou com maior frequência, sem incidentes. Isso atesta a capacidade do sistema de detectar e apagar de forma consistente até mesmo as menores partículas quentes.

Há perdas onde o material em queima passou pela zona de supressão de fagulhas para o equipamento de coleta de pó e desencadeou uma explosão. O material em queima possivelmente passou por causa de seu tamanho ou forma, ou por um defeito no equipamento de extinção de fagulhas ou em sua instalação. Como outros recursos de limitação de danos, como sistemas de alívio ou bloqueio de explosões, podem estar faltando ou não estarem totalmente adequados, as explosões subsequentes causaram danos ao equipamento de coleta. Além disso, o material em queima foi forçado (expelido) para a área de trabalho para frente através de um retorno de ar quente ou para trás até os pontos de coleta de pó. Alívio de explosão adequado combinado a proteções no retorno de ar quente (recomendadas aqui e na Norma Técnica 7-73, *Dust Collectors and Collection Systems*) poderiam ter evitado que qualquer material em queima fosse expelido nas instalações.

3.1.19 Energia mínima de ignição (EMI) (2.3.4.2)

A grande maioria dos pós tem valores de EMI acima de 10 mJ, portanto não é necessário testar rotineiramente os pós para obtenção de EMI. Esses testes normalmente são feitos apenas quando há motivos para suspeitar que um pó pode ser particularmente suscetível a ignição por estática. Os padrões de teste para EMI incluem ASTM E2019 e EN 13821, além de outros equivalentes internacionais. Qualquer resultado de teste que informe uma EMI de 10 mJ ou menos deve ser interpretado como prova de possibilidade de ignição por estática.

Cargas eletrostáticas ignizantes podem ser desenvolvidas quando pós isolantes são transferidos para silos ou tremonhas, ou se revestimentos isolantes (por exemplo, plástico) cobrirem superfícies metálicas (dutos metálicos revestidos). As cargas na superfície de uma pilha de pó isolante podem criar descargas elétricas disruptivas tipo escova que normalmente são limitadas a 20 mJ e que provavelmente não incendiam pós combustíveis comuns. Cargas desenvolvidas em superfícies revestidas podem resultar na propagação de descargas elétricas disruptivas tipo escova que podem liberar energia suficiente (centenas de mJ) para incendiar pós combustíveis. Se essas condições existirem, uma avaliação deverá ser realizada por um especialista em eletrostática.

3.1.20 Separadores de material estranho, magnético ou outros (2.3.4.3)

Usar separadores a montante de todos os equipamentos que causam impactos mecânicos ao material de processo impede a entrada de metais e outros objetos estranhos no equipamento. Sem separadores, os lixos metálicos ou outros materiais que entram no equipamento podem criar fagulhas de impacto ou atrito capazes de incendiar uma nuvem de pó.

3.1.21 Lado limpo versus lado sujo dos coletores de pó (2.4.2)

A distinção entre os lados de ar limpo e sujo não é importante quando se consideram cenários de explosão. As pressões geradas em uma explosão frequentemente rompem o meio filtrante à medida que a explosão se propaga pelos lados limpos e sujados. Além disso, pode haver uma violação do meio filtrante mesmo antes de uma explosão (por exemplo, uma ruptura da manga), permitindo assim que o pó entre no lado limpo.

O problema de onde posicionar os painéis de alívio em relação ao lado limpo e sujo é ao mesmo tempo teórico e prático. A maioria dos testes baseia-se em um compartimento sem obstruções internas e com o painel de alívio afastado da ignição. Filtros ou outras obstruções podem alterar a explosão e o processo de alívio. As mangas geralmente falham logo no início da explosão e têm um efeito pequeno no processo de alívio, mas o espelho que divide os lados limpo e sujo pode ser uma obstrução. A equação que especifica a quantidade mínima de alívio de explosão que deve estar no lado sujo se baseia na instalação de alívio de explosão totalmente adequado para uma explosão no lado sujo se as mangas não forem danificadas e não permitirem que nenhum gás seja expelido pelo lado limpo do coletor.

3.1.22 Alívio de explosão de ciclones (2.4.2.3)

Os cálculos para alívio de explosão de ciclones com base em proporções típicas de projeto mostram que a saída de gás típica, cujo diâmetro é metade do diâmetro do ciclone, fornece uma área de alívio adequada para explosões, para pós com valores de K_{st} de até 80, com base na suposição de uma resistência à pressão de cerca de 0,3 barg (4,4 psig). Pós com valores K_{st} baixos, até 80, geralmente são mais grossos (por exemplo, serragem, farinha de milho), têm um teor de voláteis muito baixo (por exemplo, carvão) ou têm energia de combustão muito baixa (por exemplo, pó de ferro, PRFV com alto conteúdo de fibras inertes).

A adequação do alívio de explosão não poderá ser assumida se o ciclone tiver um duto com a relação $L/D > 1$ que se estenda acima da saída de gás. Como ocorre com qualquer vaso que tenha duto no alívio de explosão, cálculos de pressão de explosão serão necessários para quantificar o efeito.

Devido aos efeitos significativos de sobrepessão produzidos por curvas nos dutos de alívio, qualquer saída de gás com curva de retorno de 180° (pescoço de ganso) provavelmente não terá alívio adequado à explosão. Se possível, substitua a curva de retorno por um chapéu chinês sobre uma saída de gás aberta.

As proporções típicas de ciclones incluem um diâmetro D, altura do cilindro e altura do cone 2D (cada) e diâmetro de saída de gás de 1/2 D.

3.1.23 Mangas "condutivas" para coletores de pó (2.4.3.1)

Mangas "condutivas" normalmente têm fios finos costurados ou fixados em seu tecido. A grade de fios condutores está conectada a uma ou mais cintas/fios de aterramento, que devem ser conectados à estrutura do coletor de pó. Como não há um mecanismo confiável para migrar as cargas da superfície do material das mangas não condutivas para o cabo de aterramento mais próximo, podem existir possíveis (e, às vezes, substanciais) diferenças de potencial mensuráveis entre a superfície das mangas e os cabos.

A necessidade de qualquer tipo de manga especial para evitar a ignição de pós devido à estática nunca foi estabelecida. Com mangas comuns e não condutivas, eletricidade estática pode se acumular em toda a superfície de uma manga, mas uma descarga estática só pode liberar a energia acumulada em uma área muito pequena. Essa liberação de energia provavelmente não é suficiente para ignizar até mesmo os pós mais sensíveis a ignição.

Há outra preocupação relacionada a mangas "condutivas". É possível que as cintas de aterramento se desprendam e transformem a manga em um capacitor gigante. Todos os cabos que estejam incorporados e que colem cargas da superfície da manga podem liberar subitamente eletricidade estática suficiente para incendiar uma nuvem de pó.

A agitação repetida ou os jatos de ar para limpar as mangas podem fazer com que uma ou mais cintas de aterramento se rompam ou se desconectem. Atividades de manutenção e inspeção são necessárias para evitar que isso aconteça.

3.1.24 Coletores de pó sem invólucro (2.4.4)

Coletores sem invólucro descarregam o ar sujo dentro de bolsas de tecido onde o pó é coletado e o ar "limpo" escapa para os arredores, o que aumenta a possibilidade de acúmulo de fugas de pó nos arredores, por isso a limitação a sistemas de uso irregular ou ocasional. (Veja Figura 11.)

Coletores de pó sem invólucro não são destinados ao uso com a maioria dos pós coletados de equipamentos de processo ou outras fontes de pós aerados. Pó fino rapidamente entope o filtro, o que resulta em desempenho reduzido e pode causar liberação de pó ao redor.

Como o filtro sozinho normalmente impede a liberação de pó combustível, qualquer área dentro de um raio de 3 m (10 ft) poderá ser considerada Classe II, Divisão 2 (Zona 22), o que requer equipamento elétrico classificado. Uma solução melhor é limitar os equipamentos elétricos comuns na área restrita [consulte a NFPA 499-2013 - Figura 6.10(c)].

Muitos coletores de pó sem invólucro são instalados com vários filtros com recipientes em série, como na Figura 11. O limite de 140 m³/min (5.000 ft³/min) refere-se ao fluxo de ar total pelo conjunto e não apenas a um único filtro com recipiente de material coletado.

O interior do filtro pode ser considerado um possível risco de explosão de pó; no entanto, os filtros falhariam prontamente se a nuvem contida fosse incendiada, e o resultado geralmente seria um incêndio em nuvem com uma bola de fogo limitada. Nenhum alívio de explosão seria necessário ou viável. Da mesma forma, a construção aberta permitiria que sprinklers no teto, quando presentes, controlassem um foco de incêndio em desenvolvimento.



Fig. 11. Exemplo de coletor sem invólucro

3.1.25 Dutos de conexão (2.5)

Os pós são transportados em dutos como parte de um sistema de controle de liberação de pó ou para mover o produto de uma parte do processo para outra. Transporte de fugas de pó é feito quase sempre em concentrações menores do que a CME, enquanto transporte de processo pode ser em concentrações muito maiores do que a CME. Transporte de processo pode ser chamado de transporte de fase densa.

Para entender adequadamente o risco, as condições de transporte precisam ser conhecidas. Isso pode ser determinado sabendo-se a quantidade processada/coletada em algum período ou medida por amostragem ou por monitoramento do fluxo real no duto. Às vezes, esses dados podem ser conseguidos com funcionários de segurança e saúde ocupacional da empresa.

O risco no duto pode ser afetado pelas taxas de transporte reais ou pelo pó que cai e se acumula por causa da velocidade de fluxo insuficiente no duto. É importante que isso não ocorra; isso pode ser controlado pela manutenção de vazão de ar adequada,

normalmente na ordem de 1.070 a 1.220 m/min (3.500 a 4.000 ft/min). O pó acumulado pode ser reinserido no fluxo pela onda de pressão de uma explosão e criar concentrações combustíveis localizadas, movendo-se com a onda de pressão e ignizando-se pela frente de chamas. Após uma propagação considerável, essa chama em jato turbulento se torna uma fonte de ignição muito forte que pode destruir equipamentos aparentemente protegidos de maneira adequada.

Uma quantidade notavelmente pequena de pó depositado pode propagar uma explosão. Para um duto circular de diâmetro "D" com uma camada de pó de espessura "h" depositada em 1/4 de sua circunferência interna (ou seja, na parte inferior), a concentração de pó dispersada homogêaneamente em toda a seção transversal do duto seria $C = \rho_{\text{volume}} h/D$. Por exemplo, um pó com densidade aparente de 500 kg/m³ (31 lb/ft³), apresentando espessura de camada de apenas 0,2 mm (1/125 in) em um duto de 0,2 m (8 in) de diâmetro pode gerar uma concentração de pó de 500 g/m³. Essa concentração está bem acima da CME de praticamente qualquer pó e, portanto, pode propagar uma explosão.

O pó depositado provavelmente não será homogêaneamente disperso por todo o duto, mas a pesquisa do Departamento de Minas dos EUA mostrou que explosões podem se propagar por dutos mesmo em concentrações médias de pó tão pequenas quanto metade do valor da CME. Tudo o que é necessário para a propagação é um caminho contínuo de mistura acima da CME. Essa condição pode ser satisfeita mesmo que não haja pó suficiente para encher todo o volume do duto com uma mistura acima do valor da CME. Assim, mesmo quantidades muito pequenas de pó podem ser suficientes para criar uma explosão propagada, portanto a velocidade do ar através do duto deve ser suficiente para evitar qualquer deposição do pó transferido.

O alívio de explosão em dutos não é instalado para salvar o duto, geralmente de baixo valor e facilmente substituível, mas para reduzir a violência de uma possível explosão propagando por sua extensão. Isso não interromperia a propagação da explosão, mas poderia expor equipamentos conectados que tivessem pó em suspensão a uma fonte de ignição de menor energia. Dimensionar o duto para romper em baixa pressão em vez de instalar alívios de explosão pode ser uma abordagem alternativa aceitável onde não há exposição a equipamentos.

Sistemas de isolamento de explosão podem ser necessários para dutos conectados onde a consequência de um evento desprotegido em equipamentos ou seu retorno para a edificação seja inaceitável. Por exemplo, uma lixadeira de painel grande pode ter seis pontos de coleta de pó, três na parte superior e três na parte inferior, todos unidos em um duto comum. Não é preciso dispositivo de isolamento para cada tubo de coleta. Seria melhor instalar o isolamento de explosão no duto principal depois que ele sai da edificação, para evitar que uma explosão no coletor de pó se propague de volta na direção da lixadeira.

3.1.26 Silos (2.6)

Os silos também podem ter risco de explosão de pó, mesmo quando usados com material granular com uma porção muito pequena de pós finos. À medida que o material grosso é transferido continuamente para o silo, ele cai para seu fundo, mas o material mais fino e mais explosivo permanecerá em suspensão. Se as operações de transferência continuarem por tempo suficiente, a concentração de pó combustível no ar excederá a CME e criará um risco de explosão.

Quando um coletor de pó é montado diretamente em um silo (ou seja, com um tubo de conexão curto de diâmetro suficientemente grande), qualquer explosão no coletor de pó criará os mesmos efeitos de explosão no silo, como se a explosão tivesse se originado dentro do silo, portanto o coletor de pó pode ser considerado parte do silo. Desde que qualquer alívio de explosão instalado no conjunto do coletor de pó e silo seja dimensionado com base na soma de ambos os volumes, o alívio de explosão deve ser adequado, independentemente de a explosão se originar no silo ou no coletor de pó acoplado.

Quando o coletor de pó é separado do silo por meio de um tubo pequeno ou alongado, o silo e o coletor de pó não agem mais como um único volume durante uma explosão. Se uma explosão se originar em um coletor de pó que não tenha alívio de explosão, a frente de chama se propagará pelo tubo de conexão, incendiando qualquer nuvem de pó combustível dentro do silo. Isso causaria uma explosão muito mais violenta no silo do que se a explosão do silo fosse incendiada por uma fonte de ignição convencional (mais fraca).

Os canhões de ar usados para romper pontes de material podem dispersar as partículas no material a granel para o espaço livre do silo. Mesmo que a porcentagem de pós finos seja muito pequena (por exemplo, 1%-2%), as descargas de ar repetidas concentrarão os pós finos na parte superior do leito. A operação repetida do canhão de ar cria mais pó fino na parte superior do leito e uma maior concentração de pó no topo do silo em cada acionamento do canhão de ar. Apenas uma fonte de ignição é necessária para uma explosão de pó potencialmente grave.

Além disso, determinados materiais combustíveis, como carvão, grãos e madeira, são suscetíveis a aquecimento espontâneo, e introduzir ar por um longo período pode aumentar a probabilidade de tal aquecimento. O ar introduzido durante combustão incipiente pode criar chamas ou causar uma explosão de pó.

Soluções alternativas para os canhões de ar incluem o uso de varetas vibratórias inseridas temporária ou permanentemente na parte inferior do silo ou buzinas e lanças acústicas.

3.1.27 Elevadores de canecas (2.7)

Há duas configurações de elevadores de canecas: estruturas de fechamento simples ou duplas (uma ou duas pernas): (1) Em uma estrutura de fechamento simples, as canecas se movem para cima e para baixo no mesmo compartimento (carcaça) com uma cabeça (superior) e um pé (inferior) comuns e (2) em estrutura de fechamento dupla, há compartimentos separados para as canecas em movimento para cima e para baixo, mas com cabeça e pé comuns.

Embora materiais combustíveis a granel possam ter uma porcentagem muito pequena de pós finos misturados com o material grosso demais para constituir um risco de explosão de pó, o manuseio desse material a granel provavelmente criará um risco de explosão no interior do elevador de canecas. Devido ao alto grau de turbulência no interior do elevador de canecas, quaisquer pós finos serão facilmente suspensos. Como mais pós finos são continuamente acrescentados ao espaço livre no elevador com muito pouco pó sendo depositado, a concentração pode exceder a CME e criar o risco de explosão de pó.

Um exemplo disso envolve grãos de soja não moídos para extração, que não são explosivos. Parte significativa deste produto é composta de material muito grosso (tamanho médio das partículas de aprox. 1.000 microns), mas cerca de 3% dos pós finos são menores que 75 microns. Em uma ocorrência, após o transporte desse produto em um elevador de canecas por vários minutos, os pós finos foram liberados e houve ignição e explosão.

3.1.28 Equipamento de redução de tamanho (trituradores, pulverizadores, moinhos de martelo, etc.)

Equipamentos de redução de tamanho apresentam o risco inerente de impacto mecânico na presença de pós combustíveis. O impacto mecânico pode criar aquecimento por atrito e por impacto. Poderão surgir fagulhas se metal entrar não intencionalmente na máquina. O resultado pode ser partículas incandescentes saindo do equipamento para se tornarem fonte de ignição em equipamentos a jusante ou a ignição da nuvem de pó no equipamento. Essas máquinas normalmente têm construção robusta e são capazes de suportar uma explosão interna sem danos.

Alívio de explosão geralmente não é necessário, mas a propagação de explosão para outras partes da instalação deve ser considerada, e técnicas de isolamento de explosão poderão ser necessárias.

Faça regularmente a manutenção desses dispositivos para garantir que haja lubrificação adequada, manutenção de folgas adequadas, e que pó e detritos não se acumulem e se incendeiem ou prejudiquem a operação.

3.1.29 Manufatura aditiva (impressão 3D) (2.10)

A manufatura aditiva, mais comumente conhecida como impressão 3D, está crescendo em importância na fabricação de peças complexas. Componentes estão sendo produzidos para diversos fins, desde brinquedos a componentes aeroespaciais.

As Figuras 12, 13 e 14 mostram representações esquemáticas das principais categorias de tecnologia e suas características. A impressão 3D mencionada na Figura 14 é mais representativa de impressoras de escala pessoal do que os tipos de escala industrial.

Fusão em leito de pó parece ser o método mais comum usado com pós de metal. Isso envolve o uso de dados de projeto digital para construir o componente camada por camada, alternadamente depositando uma camada de material com 20 a 100 microns de espessura (0,02 a 0,1 mm, 0,0008 a 0,004 in), e então fundindo o padrão do componente na camada e repetindo a sequência até que o "conjunto", a peça que está sendo criada, esteja concluído. Com pós de metal, a fusão é feita com um feixe de laser ou elétrons, enquanto polímeros/plásticos podem ser fundidos com um laser ou um líquido de ligação pulverizado no leito de pó.

A Figura 15 é um diagrama que representa a tecnologia de fusão por sinterização seletiva a laser (SLS) que produz o produto real. A distribuição da camada de pó é feita por uma barra distribuidora um pouco acima da superfície da plataforma de construção ou da camada anterior.

Os processos de deposição de materiais usam pós ou métodos de extrusão para construir o projeto camada por camada. Uma técnica usa dispersão seletiva de um pó por um jato de aerossol seguido por fusão com calor ou feixe de elétrons (jateamento de material). Esses processos usam pequenos "tiros" individuais de material e, normalmente, não criam nuvens de pó no equipamento.

Por fim, existe o uso de resinas plásticas líquidas em cubas, no qual o mecanismo de modelagem usa feixes de luz (laser, UV) para fundir o polímero na forma necessária (estereolitografia). Há um método que usa resinas líquidas de alto ponto de fulgor (acima de 100°C, 212°F) e fluidos de limpeza de moderados pontos de fulgor (85°C, 185°F).

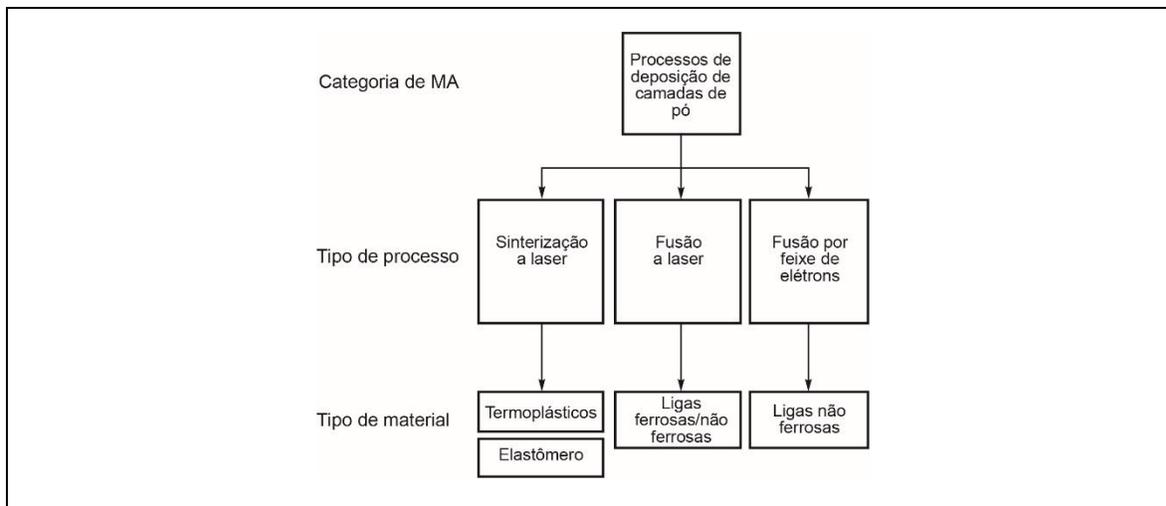


Fig. 12. Processos de deposição de camadas de pó

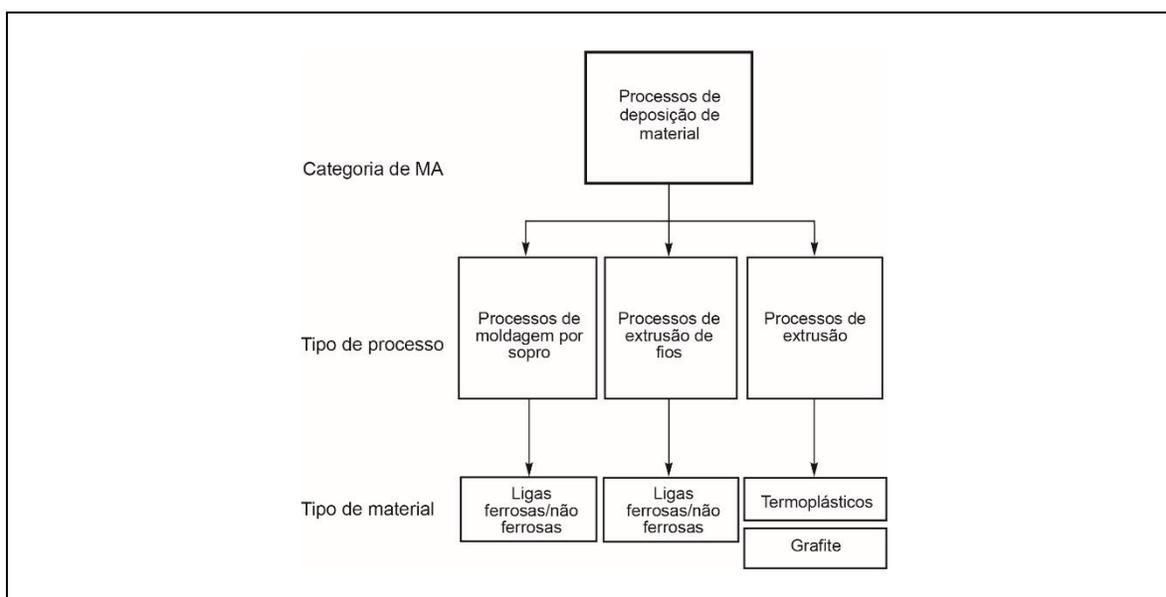


Fig. 13. Processos de deposição de material

O material de construção pode ser pó fino de metal, plástico, cerâmica ou vidro. Os pós de liga metálica em uso comum incluem cromo-cobalto, titânio-alumínio, magnésio, aço inoxidável (ferro e cromo mais outros aditivos em menores proporções) e Inconel (níquel e cromo com ferro e outros metais como aditivos em menores proporções). A explosividade do material (K_{st}) varia de acordo com o metal ou a liga em particular e, geralmente, ele deve ser considerado pó combustível até que seja comprovado o contrário por testes.

A Figura 16 mostra exemplos de impressoras industriais comuns. A ProX 300 e a Concept M2 têm um envelope de construção (câmara para a parte de impressão) de cerca de 250 x 250 x 300 mm (10 x 10 x 12 in). Uma impressora de escala industrial pode custar US\$ 0,5 milhão ou mais por máquina.

3.1.29.1 Possíveis riscos

De uma perspectiva de segurança pessoal, os problemas incluem fumaça e partículas finas que exigem alívio adequado, materiais corrosivos e nocivos que requerem equipamento de proteção individual (luvas, óculos de proteção, etc.), superfícies quentes, laser ou luz ultravioleta e altas tensões.

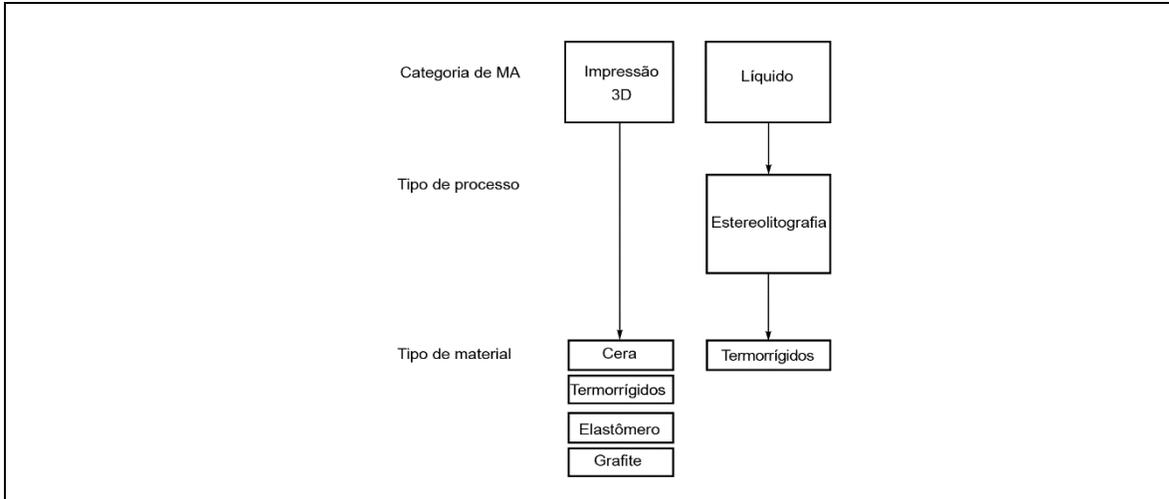


Fig. 14. Processos de impressão 3D e processos líquidos

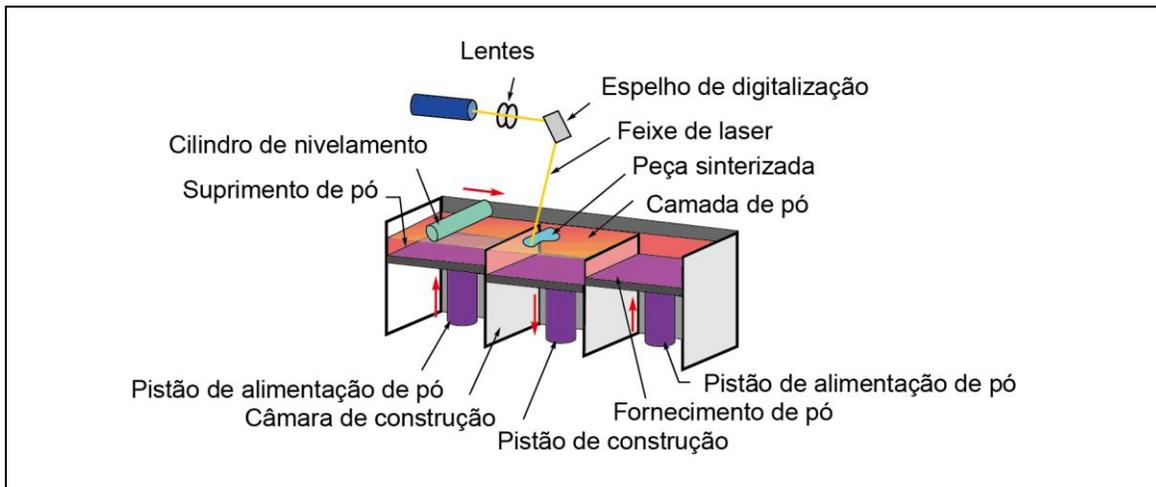


Fig. 15. Conceito de projeto de sinterização seletiva a laser (SLS), revista Chemical Engineering Progress, maio de 2014

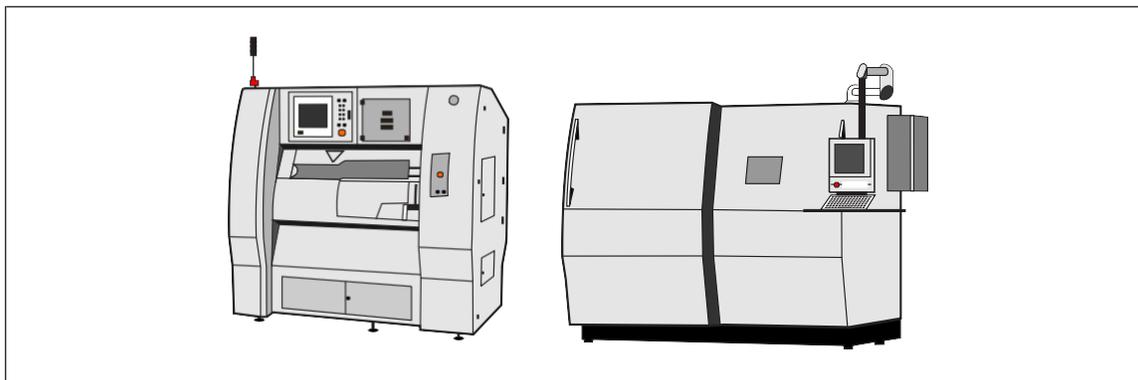


Fig. 16. Sistemas 3D de escala industrial: Impressoras a laser Prox300 e Concept M2 (Fonte: folhetos dos fabricantes)

Os principais riscos patrimoniais envolvem pó combustível manipulado na forma de pó fino (geralmente 50 microns ou menos) e líquidos igníferos usados por alguns sistemas. Somente os riscos associados às operações com pós são abordados aqui, com foco em pós de metal.

Os processos baseados em metal operam sob uma atmosfera de baixo teor de oxigênio (oxigênio inferior a 1%) para fins de qualidade do produto e, portanto, não apresentam risco de explosão na câmara de construção ou no

sistema de recirculação da atmosfera inerte. Esse sistema pode incluir filtros de cartucho ou painel que tenham construção primária ou completamente combustível. A maioria dos filtros é usada para dois ou três ciclos de construção e, em seguida, é substituída. Alguns sistemas identificam os vapores do processo de laser como um "condensado de metal altamente inflamável", que exige cuidados e manuseio especiais para evitar ignição, o que pode resultar em eventos de combustão lenta espontânea nos filtros quando eles são removidos e expostos ao ar.

Uma vez que a maioria das máquinas industriais atuais exige apenas pequenas quantidades de material (até várias centenas de quilogramas/libras nas maiores), os pós do processo são manipulados em recipientes pesados de plástico reforçado com fibra de vidro ou garrafas plásticas de, no máximo, 7,6 L (2 gal) de volume. O acúmulo de eletricidade estática ao transferir esses pós é possível, e os fabricantes normalmente recomendam a preservação da continuidade elétrica e o aterramento do pessoal, dos recipientes e das máquinas durante essas operações. No lado de manuseio do material, dada a escala atual na qual esses sistemas são usados, controlar as fontes de ignição por aterramento, ligação, etc. é mais prático do que inertizar a operação.

Equipamentos de produção em escala provavelmente exigirão outros métodos de manuseio de materiais, e precisarão ser avaliados com base nas propriedades dos pós envolvidos, como no caso de outros pós combustíveis.

O processo de limpeza para a câmara de construção normalmente usaria aspiradores de pó portáteis, que precisam ser classificados para operações perigosas envolvendo pós de plástico ou metal combustíveis.

As peças finalizadas são retiradas do equipamento, e o excesso de pó é sacudido manualmente ou mecanicamente, ou soprado usando ar comprimido e, em seguida, elas são levadas para outros processos de acabamento. Alguns plásticos são limpos com jatos de água de alta pressão em uma caixa de luvas. A limpeza com ar pode criar um pequeno risco de incêndio em nuvem de pó no local, ou um sistema de coleta de pó associado pode representar um risco de explosão de pó.

3.1.29.2 Proteção

Conforme observado anteriormente, as máquinas que manuseiam pós de metal combustível operam sob atmosferas inertes e não apresentam risco de explosão de pó. Máquinas que usam outros pós combustíveis precisam ser avaliadas para se entender como o processo é operado e se nuvens significativas de pó combustível poderiam ser criadas.

Os compartimentos da máquina contêm completamente os pós combustíveis e, portanto, não precisam de equipamentos elétricos para locais perigosos nas adjacências.

Se as operações de recuperação de pó forem realizadas com peneiramento ou outros métodos, elas deverão ser conduzidas em capelas devidamente ventiladas. Da mesma forma, a limpeza do produto para remover o pó dos espaços internos também deve ser realizada dentro de capelas ou compartimentos adequados.

Realize a limpeza de pó com aspiradores portáteis projetados corretamente para o serviço. Não há padrões claros de certificação de aspiradores de pó para a coleta de metal ou qualquer outro pó combustível. Parece que a maioria é classificada para uso em áreas perigosas com pó da mesma forma que outros equipamentos elétricos.

Há o padrão EN 60335 Parte 2-69, *Particular Requirements for Wet and Dry Vacuum Cleaners*, que aborda amplamente o problema de certificação de equipamentos para operação em áreas de zona 22. O Anexo CC desse documento aborda especificamente as modificações no padrão principal necessárias para se qualificar para uso na zona 22. A cláusula 24.1 do Anexo CC declara que: "Os componentes localizados em compartimentos que contêm pó combustível coletado devem ser adequados para a zona 20".

4.0 REFERÊNCIAS

4.1 FM Global

Norma Técnica 1-44, *Damage-Limiting Construction*
Norma Técnica 5-1, *Electrical Equipment in Hazardous (Classified) Locations*
Norma Técnica 5-8, *Static Electricity*
Norma Técnica 5-20, *Electrical Testing*
Norma Técnica 6-9, *Industrial Ovens and Dryers*
Norma Técnica 7-10, *Wood Processing and Woodworking Facilities*
Norma Técnica 7-17, *Explosion Protection Systems*
Norma Técnica 7-32, *Operações com Líquidos Igníferos*
Norma Técnica 7-59, *Inerting and Purging of Tanks, Process Vessels and Equipment*
Norma Técnica 7-73, *Dust Collectors and Collection Systems*
Norma Técnica 7-75, *Grain Storage and Milling*
Norma Técnica 7-78, *Industrial Exhaust Systems*
Norma Técnica 10-3, *Gerenciamento de Trabalhos a Quente*
Kit de Gerenciamento de Trabalhos a Quente (P9601)

4.2 Outras

Air Movement and Control Association (AMCA). *Classifications for Spark Resistant Construction*. AMCA 99040186, última edição.

American Society for Testing and Materials (ASTM). *Standard Test Method for Limiting Oxygen (Oxidant) Concentration of Combustible Dust Clouds*. E2931.

American Society for Testing and Materials (ASTM). *Standard Test Method for Minimum Explosible Concentration of Combustible Dusts*. Standard E1515, última edição.

American Society for Testing and Materials (ASTM). *Standard Test Method for Minimum Ignition Energy of a Dust Cloud in Air*. ASTM E2019, última edição.

American Society for Testing and Materials (ASTM). *Standard Test Method for Pressure and Rate of Pressure Rise of Combustible Dusts*. Standard E1226, última edição.

Bhatia, S. K. and S. Sharma. *3D Printed Prosthetics Roll off the Presses*. *Chemical Engineering Progress*, Maio de 2014.

European Committee for Standardization (CEN). *Determination of Explosion Characteristics of Dust Clouds - Part 1: Determination of the Maximum Explosion Pressure P_{max} of Dust Clouds*. EN 14034-1.

European Committee for Standardization (CEN). *Determination of Explosion Characteristics of Dust Clouds - Part 2: Determination of the Maximum Rate of Explosion Pressure Rise $(dP/dt)_{max}$ of Dust Clouds*. EN 14034-2.

European Committee for Standardization (CEN). *Determination of Explosion Characteristics of Dust Clouds. Part 3: Determination of the Lower Explosion Limit (LEL) of Dust Clouds*. (Also called minimum explosible concentration, MEC). EN 14034-3.

European Committee for Standardization (CEN). *Determination of Explosion Characteristics of Dust Clouds. Part 4: Determination of the Limiting Oxygen Concentration (LOC) of Dust Clouds*. EN 14034-4.

European Committee for Standardization (CEN). *Fire and Explosion Prevention and Protection for Bucket Elevators*. TR16829 (preliminar).

European Committee for Standardization (CEN). *Household and Similar Electrical Appliances - Safety, Part 2-69: Particular Requirements for Wet and Dry Vacuum Cleaners, Including Power Brush for Commercial Use*. EN 60335-2-69.

European Committee for Standardization (CEN). *Potentially Explosive Atmospheres - Explosion Prevention and Protection - Determination of Minimum Ignition Energy of Dust/Air Mixtures*. EN 13821.

Holbrow, P., G. A. Lunn, and A. Tyldesley. *Explosion Venting of Bucket Elevators*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 15, No. 5, 2002.

National Fire Protection Association (NFPA). *Recommended Practice for the Classification of Combustible Dusts and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installation in Chemical Process Areas*. NFPA 499, última edição.

National Fire Protection Association (NFPA). *Recommended Practice on Static Electricity*. NFPA 77, última edição.

National Fire Protection Association (NFPA). *Standard on Explosion Prevention Systems*. NFPA 69, última edição.

National Fire Protection Association (NFPA). *Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting*. NFPA 68, última edição.

Organização Internacional de Normalização (ISO). *Explosion Protection Systems – Part 1: Determination of Explosion Indices of Combustible Dusts in Air*. ISO 6184/1, última edição.

University of Exeter, Centre for Additive Layer Manufacturing. *What is additive layer manufacturing?* <http://emps.exeter.ac.uk/engineering/research/calm/whatis>. Acessado em 16 de outubro de 2016.

Verein Deutscher Ingenieure (VDI). VDI Guideline 2263 Part 8.1, *Dust Fires and Dust Explosions; Hazards, Assessment, Protective Measures; Fire and Explosion Protection on Elevators*. 2011.

Verein Deutscher Ingenieure (VDI). VDI Guideline 3673, Part 1, *Pressure Venting of Dust Explosions*. Última edição.

ANEXO A GLOSSÁRIO DE TERMOS

Aterramento: Conexão elétrica entre um objeto condutor e a terra que minimiza a diferença no potencial elétrico entre o objeto e a terra.

Av: Área de alívio de explosão

Bara: bar, absoluto (unidade de pressão).

Barg: bar, manométrico (unidade de pressão)

Certificado pela FM Approvals: As referências a "certificado pela FM Approvals" nesta norma técnica significam que o produto ou o serviço atenderam aos critérios de certificação da FM Approvals. Consulte o *Approval Guide* para obter uma relação completa dos produtos e serviços certificados pela FM Approvals.

CME: Concentração mínima explosiva, a menor concentração de pó que pode suportar uma explosão autopropagada. (Os termos LIE [limite inferior de explosividade] ou LII [limite inferior de inflamabilidade] significam a mesma coisa, mas não são frequentemente usados no contexto de explosões de pó.)

Coletor com elementos filtrantes: Um dispositivo (compartimento) que separa o material seco e sólido do ar, passando o ar por um meio de filtragem seco. Exemplos são invólucros com filtros de mangas, filtros tipo cartucho (normalmente um filtro plissado disposto em formato cilíndrico, semelhante aos filtros de ar de automóvel), filtros de tambor rotativo e filtros de painel. (Consulte a Norma Técnica 1-45, *Air Conditioning and Ventilating Systems*, e a Norma Técnica 7-73, *Dust Collectors and Collection Systems*, para obter informações sobre os tipos de filtros.)

Coletor de pó sem invólucro: Um dispositivo projetado e utilizado para remover pó do ar de transporte onde o meio filtrante não está enclausurado ou em um recipiente.

Construção limitadora de danos (CLD): Construção projetada para minimizar os danos causados por uma deflagração (explosão) em equipamentos ou edificações. Pode ser resistente a pressão, com alívio de pressão ou uma combinação dos dois. Normalmente, seriam painéis de alívio em compartimentos (edificações ou equipamentos) liberando a uma pressão abaixo da resistência do invólucro.

Continuidade elétrica: Conexão elétrica entre dois objetos eletricamente condutores que minimiza qualquer diferença no potencial elétrico entre eles.

EMI (energia mínima de ignição): A quantidade mínima de energia térmica liberada em um ponto em uma mistura combustível para causar propagação indefinida da chama sob condições de teste específicas. O valor mais baixo de EMI, conhecido como energia mínima de ignição inferior, é encontrado em uma determinada mistura ideal. Esse é o valor geralmente relatado como EMI.

Espelho: A placa de montagem para filtros tipo cartucho ou tubos e mangas de filtros de mangas.

Flegmatização: O processo de mistura de pó inerte com pós combustíveis para reduzir ou eliminar o risco de explosão.

Fonte de ignição forte: Uma fonte de ignição forte pode fornecer mais de aproximadamente 100 Joules de energia.

- a) Exemplos de uma fonte de ignição forte incluem chama aberta, arco de soldagem, explosão de gás ou pó e arco elétrico/curto.
- b) Por outro lado, exemplos que não seriam considerados fonte de ignição forte incluem fagulhas por atrito, fagulhas de impacto mecânico, fagulhas estáticas, cigarros, superfícies quentes, componentes elétricos superaquecidos.

Invólucro ou vaso fraco: Uma estrutura que não pode suportar pressões de explosão acima de 0,2 barg (3 psig) sem ser danificada ou destruída. Isso inclui a maioria das salas, edificações e muitos vasos de processo norte-americanos.

Isolamento de explosão: Sistema ou dispositivo único que impede a propagação de efeitos de explosão de um volume para um volume adjacente.

K_{St}: A constante da explosividade do pó, definida como a taxa máxima de aumento de pressão de uma explosão de pó em um vaso de 1 m³. As unidades são bar metro por segundo (bar m/s). O método de teste utilizado para obter essa constante é padronizado no mundo todo. Esse valor (K_{St}) é usado em todos os dimensionamentos modernos de alívio de explosão de pó para caracterizar a reatividade (i.e., a explosividade) de um pó específico. Somente unidades métricas são usadas para essa constante.

Limite de elasticidade: Pressão na qual um compartimento será deformado sem ruptura.

Limite de resistência: Pressão na qual um compartimento será aberto (ou seja, rompido).

Líquidos igníferos: Qualquer líquido ou mistura líquida capaz de abastecer um fogo, inclusive líquidos inflamáveis, líquidos combustíveis ou qualquer outra referência a um líquido que queimará. Um líquido ignífero deve ter um ponto de combustão.

Mitigação de explosão: Métodos utilizados para reduzir danos da explosão após o início da explosão.

P_{blast, max}: A pressão localizada como resultado da bola de fogo e da pressão de uma explosão aliviada.

P_{max}: A pressão máxima desenvolvida na esfera de 20 L quando se testa o pó em busca de características de explosividade pelo método ASTM E1226. É um fator usado para ajudar a dimensionar alívios de explosão.

Pó, combustível: Qualquer material orgânico (agrícola, plástico, químico, carvão, etc.), partículas de metal não oxidadas ou outros materiais oxidáveis (por exemplo, estearato de zinco) devem ser considerados combustíveis. Testes com aplicação de fagulha, chama de palito de fósforo, chama de queimadores Bunsen ou Meker em pequenas camadas ou pilhas de material podem ajudar na identificação de tais materiais, mas também podem resultar em falsos negativos.

Pó, explosivo: Estabelecido pela ASTM E1226, *Standard Test Method for the Explosibility of Dust Clouds* (por exemplo, EN 14034-1, *Determination of Explosion Characteristics of Dust Clouds - Part 1: Determination ENof the Maximum Explosion Pressure P_{max} of Dust Clouds* e EN 14034-2, *Determination of Explosion Characteristics of Dust Clouds - Part 2: Determination of the Maximum Rate of Explosion Pressure Rise [dP/dt]_{max} of Dust Clouds*). Um pó que não se ignize e queime em testes de camada ou de pilha pode ser identificado como explosivo em um teste do tipo E1226.

Pó: Pequenas partículas sólidas capazes de serem suspensas no ar por meio de derramamento, sopra, moagem, etc. Para as finalidades desta norma técnica, o termo se refere apenas a pós combustíveis.

P_{reqd}: A pressão de explosão mais alta em um vaso protegido por alívios de explosão; as unidades normais são barg ou psig.

Prevenção de explosão: Métodos utilizados para evitar uma explosão por controle de ar, combustível, fonte de ignição ou uma combinação desses fatores.

P_{sia}: Libras por polegada quadrada, absoluta (unidade de pressão).

P_{sig}: Libras por polegada quadrada, manométrica (unidade de pressão).

P_{stat}: Pressão de alívio de explosão; as unidades comuns são barg ou psig.

Resistência de projeto: Pressão à qual um vaso pode ser exposto sem qualquer risco de danos (porque um fator de segurança foi aplicado ao limite de elasticidade).

Separador de ar e material: Um termo amplo para um dispositivo projetado para separar pós do ar no qual eles são transportados. Normalmente, seria um ciclone ou coletor de pó.

Válvula de descarga dupla: Um arranjo de duas válvulas gaveta ou válvulas borboleta em série. Apenas uma abre por vez. Essa válvula geralmente é usada se o material descarregado de um vaso for alimentado por gravidade para outro vaso (ou seja, não transportado pneumáticamente), como um coletor de pó descarregando em uma moega abaixo dele, ou um misturador de material ou um triturador descarregando em um sistema de transporte pneumático.

Vaso forte: Um vaso capaz de suportar pressões de explosão acima de 0,2 barg (3 psig) sem ser danificado ou destruído. Isso inclui a maioria dos vasos de processo construídos ou utilizados na Europa.

ANEXO B HISTÓRICO DE REVISÕES DO DOCUMENTO

Abril de 2017. Revisão Provisória. A Recomendação 2.7.2.3 sobre proteção de elevadores de canecas foi modificada para oferecer maior clareza.

Janeiro de 2017. Revisão Provisória. As seguintes alterações foram feitas:

- A. Adicionado novo material sobre manufatura aditiva (impressão 3D).
- B. Expansão dos critérios de projeto de alívio de explosão e adicionados critérios de proteção contra incêndio para elevadores de canecas.
- C. Adicionado novo material sobre coletores de pó sem invólucro.
- D. Expansão das informações sobre aplicação adequada de dispositivos de alívio corta-chamas (tubos de abafamento).
- E. Realizadas alterações editoriais.

Outubro de 2014. Revisão provisória. A definição de pó explosível foi modificada para alinhar-se à prática do setor, removendo o limite de tamanho de partículas específico.

Janeiro de 2014. Foram realizadas pequenas alterações editoriais.

Abril de 2013. Foram realizadas pequenas alterações editoriais.

Janeiro de 2012. A terminologia referente a líquidos igníferos foi revisada para maior clareza e consistência com as recomendações de prevenção de perdas da FM Global relativas a riscos de líquidos igníferos.

Março de 2009. Pequenas alterações de texto foram feitas nesta revisão.

Janeiro de 2009. Foi feita correção da equação na Seção 2.4.2.2.1.

Maio de 2008: Documento reformatado para maior clareza e facilidade de uso, especialmente as recomendações.

Adicionadas mais orientações de construção e localização sobre locais preferenciais para ocupações com risco de pó.

Enfatizados os recursos de eliminação e mitigação de riscos de explosão.

Adicionadas válvulas rotativas como método de isolamento.

Refinados os critérios sobre ventiladores e sopradores instalados em correntes de ar com pó onde eles podem se tornar uma fonte de ignição em uma atmosfera que pode exceder a CME.

Simplificados os critérios de proteção de vasos com resistência desconhecida.

Solucionadas inconsistências com outras normas técnicas, especialmente a 7-73, *Dust Collectors*.

Simplificada a seção Suporte para Recomendações.

Maio de 2006. Pequenas alterações de texto foram feitas nesta revisão.

Adicionada a nova Seção 3.2.3.9.1, Massa típica de painéis de alívio (inércia).

Maio de 2005. Adicionadas recomendações para implementação de um programa de gerenciamento de mudanças.

Janeiro de 2005. Pequenas alterações editoriais.

Maio de 2004. Pequenas alterações editoriais.

Maio de 2003. Pequenas alterações editoriais.

Janeiro de 2001. O documento foi reorganizado para apresentar um formato consistente.

Agosto de 1995. Principais revisões que implementam a tecnologia de dimensionamento de alívio baseada em K_{st} e abandonam o método anterior de dimensionamento de área de alívio com base no volume protegido.

Esta norma técnica inclui muitas recomendações novas que não estavam na edição de 1976, mas muitos locais exigirão menos proteção do que a versão anterior considerava necessária. As seguintes exceções foram feitas para os requisitos gerais de proteção contra explosão:

- Alívio de explosão não é necessário em ciclones que lidam com pó com K_{st} menor que 80 (pouco explosível) e têm saída de gás aberta na parte superior cujo diâmetro é igual ou superior a 45% do diâmetro do ciclone.
- Os sistemas que operam a uma pressão abaixo de 0,1 bara (1,5 psia) não exigem proteção.
- Secadores por atomização exigem uma quantidade reduzida de alívio de explosão em comparação a outros equipamentos com o mesmo volume. Obs.: A área de alívio de explosão para secadores por atomização e outros equipamentos agora é calculada com o uso do software DustCalc da FM Global Research.

ANEXO C INFORMAÇÕES DE PESQUISA SOBRE RISCOS DE EXPLOSÃO DE PÓ

Consulte o seguinte artigo:

Tamanini, F. and Valiulis, J.V., "Improved guidelines for the sizing of vents in dust explosions", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* (Vol. 9. No. 1. 1996), 105-118

ANEXO D BIBLIOGRAFIA

1. Alfert, F., and K. Fuhre. *Flame and Dust Free Venting of Dust Explosions by Means of a Quenching Pipe*. CMI-Report No. 89-25820-1. Chr. Michelsen Institute (Noruega), 1989.
2. Bartknecht, W. *Dust Explosions: Course, Prevention, Protection*. Springer-Verlag, New York, NY, 1989.
3. Cooper, M. G., et. al. *On the Mechanisms of Pressure Generation in Vented Explosions*. *Combustion and Flame* (1986) 65: 1-14.
4. Cabbage, P. A., and W. A. Simmonds. *An Investigation of Explosion Reliefs for Industrial Drying Ovens. I-Top Reliefs in Box Ovens*. *Transactions of the Institute of Gas Engineers* (1955) 105: 470-526.
5. DeGood, R. *Isolation: Another Way to Take the Bang out of Explosions*. CPI Equipment Reporter (Jan-Fev 1988).
6. Eckoff, R. K. *Dust Explosions in the Process Industries*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 1991.
7. Green, D. W., and R. H. Perry. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, Eighth Edition (*Chemical Engineers Handbook*). New York: McGraw-Hill, 2007.
8. Hurlimann, H. *Results from Real Scale Explosion Tests*. Third International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, Basel, Switzerland, 1980.
9. Lunn, G. A. *Dust Explosion Prevention and Protection Part 3 — Venting of Weak Explosions and the Effect of Vent Ducts*. Rugby: Institute of Chemical Engineers, 1988.
10. Pineau, J. P. *Protection Against Fire and Explosion in Milk Powder Plants*. 'Europex First International Symposium, Antuérpia, Bélgica, Abril 16–19, 1984.
11. Siwek, R. *A Review of Explosion Isolating Techniques*. Europex International Seminar, Março 1996.
12. Siwek, R., and O. Skov. *Modellberechnung zur Dimensionierung von Explosionsklappen auf der Basis von praxisnahen Explosionsversuchen*. VDI Berichte (1988) 701: 569-616.
13. Siwek, R., *New Knowledge About Rotary Air Locks in Preventing Dust Ignition Breakthrough*. *Plant Operations Progress* (Julho 1989) Vol. 8, No. 3: 165-176.
14. van Wingerden, C. J. M., and H. J. Pasman. *Explosion Venting of Partially Filled Enclosures*. Conference on Flammable Dust Explosions, St. Louis, Missouri, USA, Novembro 2–4, 1988.
15. van Wingerden, K., *Prediction of pressure and flame effects in the direct surroundings of installations protected by dust explosion venting*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* (Vol. 6, Nº 4, 1993): 241–249.

16. WirknerBott, I., et. al. *Dust Explosion Venting: Investigation of the Secondary Explosion*. Artigo apresentado no Seventh International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, Taormina, Itália, 1992.

17. Zeeuwen, J. P., and G. G. M. van Laar. *Explosion Venting of Enclosures Partially Filled with Flammable DustAir Mixtures*. International Symposium on Control of Risks in Handling and Storage of Granular Foods, Paris, França, Abril 24-26, 1985.