



Bomba de vácuo e sistemas de vácuo

MANUAL DE SEGURANÇA

Aviso de Copyright

©Edwards Limited 2019. Todos os direitos reservados.

Conteúdo

1. Introdução	5
1.1 Âmbito desta publicação	5
1.2 Riscos de explosão	5
2. Em caso de perigo	7
2.1 Design	7
2.2 Construção	7
2.3 Funcionamento / colocação em funcionamento	8
2.4 Manutenção / desativação	8
3. Fontes químicas de perigo	9
3.1 Reações químicas e explosões	9
3.1.1 Reações homogéneas	9
3.1.2 Reações heterogéneas	9
3.2 Problemas com Reações anormais	9
3.3 Perigos de explosão	10
3.3.1 Oxidantes	10
3.3.2 Materiais inflamáveis / explosivos	11
3.3.3 Materiais pirofóricos	11
3.3.4 Azida de sódio	12
3.4 Materiais tóxicos ou corrosivos	12
3.4.1 Materiais tóxicos	12
3.4.2 Materiais corrosivos	13
3.5 Resumo – fontes químicas de perigo	14
4. Fontes físicas de perigo	15
4.1 Tipos de perigos de sobrepresão	15
4.2 Escape da bomba em sobrepresão	15
4.3 Proteção contra sobrepresão de escape	15
4.4 Sobrepresão de entrada	16
4.4.1 Suprimento de gás comprimido e contrapressão	16
4.4.2 Funcionamento incorreto da bomba	17
4.5 Resumo – fontes físicas de perigo	17
5. Análise de perigos	18
6. Design do sistema	19
6.1 Classificações de pressão num sistema	19
6.2 Eliminação de volumes estagnados	19
6.3 Sistemas de extração de escape	20
6.4 Fontes de misturas de vapor ou gás potencialmente explosivas	20

6.5	Evitar a zona inflamável.	21
6.6	Níveis de integridade do sistema.	23
6.7	Utilização de sistemas de proteção de corta-chamas.	24
6.8	Fontes de ignição.	25
6.9	Resumo – concepção do sistema.	26
7.	A escolha correta de equipamento.	28
7.1	Bombas de aletas rotativas e de êmbolo com banho de óleo.	29
7.2	Bombas secas Edwards.	29
7.3	Design das condutas.	29
7.3.1	Foles.	29
7.3.2	Condutas flexíveis.	30
7.3.3	Pontos de ancoragem.	30
7.3.4	Vedantes.	30
7.4	Proteção física contra sobrepressão.	30
7.4.1	Descompressão.	30
7.4.2	Alarme/disjuntor de sobrepressão.	31
7.4.3	Reguladores de pressão.	31
7.4.4	Corta-chamas.	31
7.5	Sistemas de purga.	32
7.6	Resumo – a escolha correta de equipamento.	32
8.	Procedimentos de utilização e formação.	33
9.	Resumo.	34

A Edwards Ltd. declina toda e qualquer responsabilidade ou garantia relacionada com a precisão, prática, segurança e resultados das informações, procedimentos ou respetivas aplicações aqui descritas. A Edwards Ltd. não assume qualquer responsabilidade por perdas ou danos que ocorram como resultado da confiança depositada nas informações contidas nesta apresentação ou pelo facto de as mesmas estarem de algum modo incorretas ou incompletas. Note-se que as informações aqui contidas são apenas para efeitos de consulta e, embora a Edwards possa fornecer orientações quanto a potenciais perigos ao utilizar materiais perigosos, é responsabilidade do utilizador final avaliar os riscos e perigos específicos das respetivas operações e em termos ambientais, bem como cumprir a regulamentação governamental.

1. Introdução

1.1 Âmbito desta publicação

Este documento contém informações de segurança associadas a especificações, design, funcionamento e manutenção de sistemas e bombas de vácuo.

O documento identifica alguns dos potenciais perigos que podem ocorrer e fornece orientações destinadas a ajudar à minimização da probabilidade de ocorrência de perigos relacionados com a segurança e também para assegurar que, se ocorrer alguma situação perigosa, esta é resolvida de forma adequada.

Este documento deve ser lido por todas as pessoas que trabalham com especificações, design, instalação, funcionamento ou manutenção de sistemas e bombas de vácuo. Recomendamos que a sua leitura seja feita em conjunto com o seguinte:

- Manuais de instruções fornecidos com o seu equipamento;
- Informações disponibilizadas pelos fornecedores dos seus produtos químicos e gases de processos;
- Informações fornecidas pelo seu departamento de segurança.



ADVERTÊNCIA:

O incumprimento das instruções de segurança fornecidas neste manual e no manual de instruções da bomba relevante pode causar graves prejuízos ou morte.

Se necessitar de mais informações sobre a adequação dos produtos Edwards para a sua aplicação de processo, ou sobre aspectos de segurança dos seus sistemas ou bombas de vácuo, contacte o seu fornecedor ou a Edwards.

1.2 Riscos de explosão

Nota:

Estão disponíveis bombas Edwards que cumprem a diretiva europeia ATEX para equipamento utilizado em atmosferas potencialmente explosivas.

As explosões inesperadas são invariavelmente causadas pelo desvio em relação às diretrizes de segurança. Não obstante, alguns dos incidentes de explosão foram extremamente violentos e poderiam ter provocado ferimentos graves ou morte.

Algumas das causas mais comuns de rupturas violentas de um componente num sistema de vácuo são a ignição de materiais inflamáveis ou o bloqueio ou restrição do sistema de escape da bomba. Para evitar perigos, deve ter atenção ao que se segue, de modo a assegurar um funcionamento seguro dos seus sistemas e bombas de vácuo.

- A não ser que o seu sistema tenha sido concebido para bombear material em concentrações passíveis de ignição na bomba de vácuo, tem de se certificar de que as misturas de inflamáveis e oxidantes são mantidas fora do limite de inflamabilidade. Utilizar uma purga inerte é uma das formas de o conseguir. Ver [Evitar a zona inflamável](#) na página 21.
- Certifique-se de que não podem ocorrer bloqueios de escape durante o funcionamento, seja devido a componentes mecânicos (por exemplo, válvulas ou obturadores) ou a materiais de processo, nem acumulação de subprodutos nas

condutas, filtros e outros componentes de escape (salvo se o seu sistema tiver sido concebido para o efeito).

- Utilize apenas óleos de PFPE (perfluoropoliéter) nos locais dos mecanismos das bombas que estejam expostos a elevadas concentrações de oxigénio ou outros oxidantes. Outros tipos de óleos comercializados como "não inflamáveis" podem apenas ser adequados para utilização com concentrações de oxidantes até 30% v/v.
- Certifique-se de que não ocorre sobrepressão acidental de um sistema de vácuo deliberadamente fechado ou isolado; por exemplo, como resultado de uma falha num regulador de pressão ou num sistema de controlo de purga.
- Nos casos em que o produto bombeado possa reagir violentamente com a água, recomenda-se a utilização de outro material de arrefecimento que não seja água (por exemplo, líquido refrigerante) no circuito de arrefecimento. Para instruções específicas, consulte a Edwards.

2. Em caso de perigo

Os perigos podem surgir em todas as fases da vida de um sistema. Estas fases são:

- Design
- Construção
- Funcionamento / colocação em funcionamento
- Manutenção / desativação

Os tipos de problemas que podem ocorrer em cada uma das fases estão resumidos abaixo. Em todos os casos, deve estar consciente de que pode minimizar os perigos no seu sistema apenas quando tem um bom conhecimento do equipamento e do processo/aplicação que está no sistema. Em caso de dúvida, deve pedir mais informações ou conselhos aos seus fornecedores.

2.1 Design

Quando concebe o seu sistema, deve escolher o tipo de equipamento correto para a sua aplicação. Deve ter em conta:

- a especificação técnica do equipamento;
- os materiais utilizados na construção do equipamento;
- os consumíveis para funcionamento utilizados com o equipamento (tais como lubrificantes e líquidos de funcionamento);
- os materiais e as condições do processo.

Deve também pensar na adequação geral do equipamento para a sua aplicação e garantir que será sempre utilizado dentro das condições de funcionamento especificadas.

Deve estabelecer procedimentos de design de modo a garantir que os erros de design são reduzidos ao mínimo. Estes procedimentos devem incluir uma verificação independente dos cálculos de design, bem como serviços de consultoria sobre os parâmetros de design.

A análise de perigos deve fazer sempre parte da sua avaliação de design. Pode eliminar muitos dos potenciais perigos tendo uma consideração cuidada sobre a utilização do equipamento no seu sistema.

2.2 Construção

Reduza a probabilidade de ocorrência de perigos durante a construção recorrendo a pessoal competente e qualificado e a procedimentos de certificação de qualidade. O pessoal qualificado pode identificar os componentes corretos que são necessários durante a montagem e pode também identificar equipamento e componentes que estejam com falhas ou defeitos de fabrico. Os procedimentos de certificação de qualidade ajudarão a identificar e a retificar eventuais defeitos de mão de obra e poderão garantir que a especificação de design é rigorosamente cumprida.

O pessoal deve ter especial cuidado e cumprir todas as precauções de segurança ao instalar equipamento novo num sistema em que tenham sido bombeadas, produzidas ou em que ainda estejam presentes substâncias tóxicas, corrosivas, inflamáveis, asfixiantes, pirofóricas, entre outras substâncias perigosas.

O equipamento elétrico deve ser instalado por pessoal qualificado, de acordo com todos os regulamentos para equipamentos elétricos adequados a nível local e nacional.

2.3 Funcionamento / colocação em funcionamento

Durante o funcionamento, os perigos podem ser provocados por falhas do equipamento e de componentes na sequência da sua antiguidade, utilização inadequada ou manutenção insuficiente. Reduza a probabilidade de ocorrência destes perigos obtendo formação adequada para a utilização (e manutenção) do equipamento. Quando necessário, consulte as informações fornecidas pela Edwards e outros fornecedores na forma de manuais de instruções, formação e serviço pós-venda.

2.4 Manutenção / desativação

Para evitar que o pessoal entre em contacto com substâncias perigosas, deve ter-se especial cuidado e devem ser cumpridas todas as precauções de segurança durante a manutenção de um sistema em que possam ter sido bombeadas ou produzidas substâncias tóxicas, corrosivas, inflamáveis, pirofóricas, asfixiantes, entre outras substâncias.

Deve também ter-se em consideração um programa de manutenção planeado e uma eliminação segura dos componentes que possam ser contaminados com substâncias perigosas. Deve seguir os conselhos de manutenção presentes nos manuais de instruções para todo o equipamento, de modo a garantir um funcionamento seguro e fiável. Normalmente, os sistemas ATEX têm outras exigências.

3. Fontes químicas de perigo

3.1 Reações químicas e explosões

Deve considerar cuidadosamente todas as possíveis reações químicas que, em condições de utilização normal, utilização indevida ou em caso de falha, podem ocorrer em qualquer ponto no seu sistema de vácuo. Em particular, deve considerar cuidadosamente reações que envolvam gases e vapores passíveis de levar a explosões. A experiência tem demonstrado que há explosões em que os materiais envolvidos não foram originalmente tidos em conta por quem concebeu o sistema e em que o modo de falha desse equipamento não tinha sido levado em consideração.

3.1.1 Reações homogéneas

As reações homogéneas ocorrem na fase gasosa entre dois ou mais tipos de moléculas gasosas. As reações de combustão de gás ocorrem normalmente desta forma. Por exemplo, de acordo com as informações disponíveis, a reação entre o silano (SiH_4) e o oxigénio (O_2) é sempre homogénea. Como tal, se ocorrerem tais Reações num processo de fabrico, deve controlar cuidadosamente a pressão do processo e as concentrações de reagente, para evitar a ocorrência de taxas de reação excessivas.

3.1.2 Reações heterogéneas

Para que ocorram Reações heterogéneas, é necessária a existência de uma superfície sólida, ou seja, algumas moléculas gasosas apenas reagem quando são adsorvidas numa superfície, mas não reagem na fase gasosa com pressões baixas. Este tipo de reação é ideal para determinados processos, uma vez que minimiza os efeitos de reações que ocorrem na câmara de processo, reduz a geração de partículas e diminui a probabilidade de contaminação.

Muitas Reações heterogéneas tornam-se homogéneas com pressões mais altas, normalmente bem abaixo da pressão atmosférica. Isto significa que a forma como os gases reagem em câmaras de processo não se relacionará necessariamente com a forma como reagem quando são comprimidos por uma bomba de vácuo.

3.2 Problemas com Reações anormais

As reações anormais podem ocorrer quando os químicos entram em contacto com gases ou materiais não previstos por quem concebeu o sistema. Tal pode ocorrer, por exemplo, quando há fugas que permitem a entrada de gases atmosféricos no sistema ou a saída de gases tóxicos, inflamáveis, explosivos ou outros perigosos para a atmosfera.

Para evitar a ocorrência destas reações, deve manter no seu sistema uma estanqueidade de 1×10^{-3} mbar l s^{-1} (1×10^{-1} Pa l s^{-1}) ou inferior. As aplicações de alto vácuo mantêm, em condições típicas, uma estanqueidade de 1×10^{-5} mbar l s^{-1} (1×10^{-3} Pa l s^{-1}) ou inferior. Deve também garantir que todas as válvulas no sistema estão estanques nas respetivas sedes.

Os gases que normalmente não têm contacto entre si senão durante o ciclo do processo podem ser misturados no sistema de bombeamento e na tubulação de exaustão.

É possível que haja vapor de água ou soluções de limpeza na câmara de processo após os procedimentos de manutenção de rotina. Tal pode acontecer depois de a câmara de

processo ter sido escoada e limpa. O vapor de água pode também entrar no sistema a partir das condutas de escape e dos lavadores de escape.

Quando forem utilizados solventes para lavar depósitos de processo a partir do sistema de vácuo, é importante assegurar que o solvente selecionado é compatível com todos os materiais de processo no sistema de vácuo.

3.3 Perigos de explosão

A fonte dos perigos de explosão inclui-se geralmente numa das seguintes categorias:

- Oxidantes
- Materiais inflamáveis / explosivos
- Materiais pirofóricos
- Azida de sódio.

Tenha em conta que, nos países da União Europeia (e mais alguns), é exigido por lei aos fornecedores de materiais de processo que publiquem dados físicos e químicos para os materiais que comercializam (normalmente na forma de folhas de dados de segurança de materiais). Os dados para um material devem incluir, quando aplicável, informações sobre os limites superior e inferior de explosão, as propriedades físicas e termodinâmicas do material e quaisquer perigos de saúde associados à utilização do material. Consulte esta informação para efeitos de orientação.

3.3.1 Oxidantes

Oxidantes como o oxigénio (O_2), o ozono (O_3), o flúor (F_2), o trifluoreto de azoto (NF_3) e o hexafluoreto de tungsténio (WF_6) são frequentemente bombeados em sistemas de vácuo. Os oxidantes reagem rapidamente com uma vasta gama de substâncias e materiais e é frequente a reação produzir calor e uma pressão de gás aumentada. Os potenciais perigos daí resultantes incluem o fogo e a sobrepressão na bomba e/ou no sistema de escape.

Para bombear estes gases de forma segura, deve seguir as instruções de segurança do fornecedor de gás, juntamente com as seguintes recomendações:

- Utilize sempre um lubrificante de PFPE (perfluoropoliéter) em bombas que sejam utilizadas para bombear oxigénio em concentrações superiores a 25% por volume num gás inerte.
- Utilize lubrificantes de PFPE em bombas que sejam utilizadas para bombear gases cuja percentagem de oxigénio seja normalmente inferior a 25% por volume, mas que possa subir até mais de 25% em condições de falha; se forem bombeados outros oxidantes que não o oxigénio, consulte o fornecedor de lubrificante para saber quais são os níveis recomendados do oxidante presente.
- Os lubrificantes de PFPE são os preferenciais, mas os de hidrocarbonetos podem ser utilizados se for utilizada uma purga de gás inerte adequada para garantir que o óleo não é exposto a níveis não seguros de oxidante.

Em circunstâncias normais, os lubrificantes de PFPE não oxidam nem se decompõem em utilizações como aletas rotativas com banho de óleo, caixas de óleo de bombas de êmbolo, ou em caixas de engrenagens, pelo que isto reduz a probabilidade de ocorrência de uma explosão.

Tenha em conta que a decomposição térmica dos lubrificantes de PFPE pode ocorrer com ou acima de uma temperatura de 290 °C na presença de ar e metais ferrosos. Contudo, a temperatura de decomposição térmica é reduzida para 260 °C quando há presença de titânio, magnésio, alumínio ou respetivas ligas.

Se não pretender utilizar lubrificantes de PFPE em aletas rotativas com banho de óleo ou bombas de vácuo de êmbolo, pode diluir o oxidante para uma concentração mais segura com um gás inerte, como o azoto seco. Esta abordagem apenas é exequível para baixas taxas de fluxo de gases oxidantes. Deve instalar dispositivos de segurança no seu sistema para garantir que existe sempre disponível o fluxo mínimo do gás de diluição inerte necessário para reduzir a um nível seguro a concentração de oxidante e para garantir que o fluxo de oxidante não excede a taxa de fluxo máxima permitida. Deve conceber o seu sistema de modo a que o fluxo de oxidante pare imediatamente caso estas condições não sejam cumpridas.

Recomendamos que utilize bombas secas Edwards ao bombear oxidantes (ver [Bombas secas Edwards](#) na página 29). As bombas secas não têm vedantes líquidos no volume deslocado. Como tal, há uma probabilidade muito mais reduzida de ocorrência de uma explosão quando se utiliza uma bomba seca para processar oxidantes. A Edwards recomenda uma purga de gás inerte dos rolamentos e na caixa de engrenagens quando é utilizado um lubrificante de hidrocarbonetos.

3.3.2 Materiais inflamáveis / explosivos

Muitos gases e pós, tais como o hidrogénio (H_2), acetileno (C_2H_2), propano (C_3H_8) e pó de silício finamente dividido, são inflamáveis e/ou explosivos em determinadas concentrações num oxidante se estiver presente uma fonte de ignição. Pode surgir uma fonte de ignição, por exemplo, de uma acumulação localizada de calor. Isto é abordado em [Fontes de ignição](#) na página 25.

É possível evitar o perigo de explosão ao certificar-se de que a concentração da mistura potencialmente inflamável é mantida fora do alcance da zona inflamável. Encontram-se mais informações disponíveis em [Evitar a zona inflamável](#) na página 21.

Outro método que pode utilizar para reduzir a probabilidade de explosão é eliminar a fonte de ignição. Encontram-se mais informações em [Fontes de ignição](#) na página 25.

Quando não for possível evitar a zona inflamável, deve assegurar-se de que o equipamento está concebido para evitar ou conter qualquer explosão resultante sem ruptura ou transmissão de chamas para a atmosfera exterior. A utilização de corta-chamas é abordada em [Utilização de sistemas de proteção de corta-chamas](#) na página 24. Se a atmosfera externa do seu sistema de vácuo for perigosa, deve certificar-se de que todo o equipamento tem a classificação adequada.

Dentro da União Europeia, a diretiva ATEX fornece orientações claras sobre o design do equipamento a ser utilizado em atmosferas potencialmente explosivas.

Quando for possível evitar o bombeamento em atmosferas potencialmente explosivas em todas as condições, podem ser utilizados todos os tipos de bombas de vácuo Edwards para bombear gases e vapores inflamáveis.

3.3.3 Materiais pirofóricos

Na maioria das condições, os gases pirofóricos como o silano (SiH_4) e o fosfano (PH_3) ou os pós pirofóricos reagem espontaneamente com o ar à pressão atmosférica, pelo que poderá ocorrer combustão quando estes gases entrarem em contacto com o ar ou outros oxidantes, quando a pressão for suficientemente alta para suportar a combustão. Isto pode acontecer em caso de fugas de ar para o sistema ou se o escape do sistema entrar em contacto com a atmosfera. O calor da reação entre um oxidante e um gás pirofórico pode atuar como fonte de ignição para materiais explosivos.

Se forem ventilados gases de exaustão de diferentes processos através de um sistema de extração comum, pode ocorrer combustão e/ou uma explosão. Assim, recomenda-se que utilize sistemas de extração independentes quando bombear materiais pirofóricos.

Os processos que utilizam fósforo podem provocar a condensação de fósforo sólido no sistema de vácuo ou no respetivo escape. Na presença de ar e até perante uma pequena agitação mecânica (por exemplo, acionamento de uma válvula ou rotação da bomba provocada por um diferencial de pressão), o fósforo pode arder espontaneamente e libertar gases tóxicos. Recomenda-se que as bombas funcionem com uma purga de gás inerte e a temperaturas suficientemente quentes para minimizar a condensação de fósforo.

Os lubrificantes de PFPE podem absorver gases de processo que, no caso dos materiais pirofóricos, podem levar a ignição local quando o lubrificante é exposto ao ar. Este perigo pode tornar-se particularmente aparente durante a manutenção, ou quando for bombeado um oxidante através do sistema após a passagem de um gás pirofórico ou pó. Pode reduzir a probabilidade de ocorrência deste perigo se utilizar bombas secas Edwards, que não contêm lubrificantes no volume deslocado. Tem de certificar-se de que todo o material pirofórico foi passivado antes de ser ventilado ou manuseado.

3.3.4 Azida de sódio

A azida de sódio é ocasionalmente utilizada na preparação de produtos para liofilização e para outros processos de fabrico. A azida de sódio pode produzir ácido hidrazóico. Os vapores de ácido hidrazóico podem reagir com metais pesados e formar azidas metálicas instáveis. Estas azidas podem explodir espontaneamente.

Os metais pesados incluem:

• Bário	• Cádmi	• Césio
• Cálcio	• Cobre	• Chumbo
• Lítio	• Manganês	• Potássio
• Rubídio	• Prata	• Sódio
• Estrôncio	• Estanho	• Zinco
• Ligas de cobre/zinco (como o latão)		

O latão, o cobre, o cádmio, o estanho e o zinco são normalmente utilizados em muitos componentes em bombas de vácuo, acessórios e tubos. Se o seu sistema de processo utilizar ou produzir azida de sódio, deve garantir que o percurso do gás no seu sistema de processo não contém metais pesados.

3.4 Materiais tóxicos ou corrosivos

Muitas aplicações de vácuo envolvem o processamento e manuseamento de materiais tóxicos e corrosivos e requerem procedimentos específicos.

3.4.1 Materiais tóxicos

Os materiais tóxicos são, por natureza, perigosos para a saúde. No entanto, a natureza do perigo é específica do material e da sua concentração relativa. Deve cumprir os procedimentos de manuseamento corretos estipulados pelo fornecedor do material e pela legislação aplicável.

Deve também considerar os seguintes pontos:

- **Diluição de gás** - Existem instalações para permitir a diluição de gases de processos tóxicos à medida que estes passam pela bomba de vácuo e entram no escape. Pode recorrer a esta diluição para reduzir a concentração abaixo do limite tóxico.

Recomendamos que monitorize o seu suprimento de gás de diluição, de forma a ser alertado em caso de falha no abastecimento. Especificamente para bombas com banho de óleo, consulte o manual de instruções da bomba relativamente a quaisquer kits de retorno de óleo necessários.

- **Deteção de fugas** - Os sistemas de vácuo Edwards são geralmente concebidos para serem estanques, até um nível de $< 1 \times 10^{-3}$ mbar l s⁻¹ ($< 1 \times 10^{-1}$ Pa l s⁻¹). No entanto, a estanqueidade do sistema adjacente não pode ser assegurada. Deve utilizar um método de deteção de fugas adequado (por exemplo, deteção de fugas por espectrometria de massa a hélio) para confirmar a integridade do sistema de vácuo e escape.
- **Vedação de veio (bombas secas Edwards)** - Muitas bombas de vácuo secas utilizam um sistema de purga de gás para assegurar que os gases de processo não entram na caixa de engrenagens e nos rolamentos e, de forma consequente e potencial, na atmosfera que rodeia o sistema de vácuo. Deve assegurar a integridade deste suprimento de gás ao manusear materiais tóxicos. Os reguladores sem ventilação devem ser utilizados em combinação com uma válvula de retenção (antirretorno), conforme abordado em *Reguladores de pressão* na página 31.
- **Vedação de veio (outras bombas Edwards)** - O design de vedação de veio com banho de óleo (por exemplo, bombas booster mecânicas EH e bombas de aletas rotativas EM) minimizam o risco de fuga de gases de processo (ou de fuga interna de ar) e podem fornecer um aviso visual (fuga de óleo ou redução do nível de óleo) antes de surgir uma situação de perigo. Outro design de vedação pode não indicar avisos adequados de falhas.
- **Transmissões magnéticas** - Quando for necessária uma vedação hermética total, as bombas de vácuo secas Edwards EDP podem ser fornecidas com uma transmissão magnética instalada que emprega um reservatório de cerâmica que elimina a necessidade de vedação do veio no veio de entrada do motor.

Se as válvulas de alívio de pressão ou os discos de segurança forem utilizados para libertar a pressão em excesso, certifique-se de que dispõem de uma ventilação segura para um sistema de escape adequado, de modo a evitar perigos tóxicos.

Quando devolver equipamento de vácuo contaminado à Edwards para serviço ou manutenção, deve seguir os procedimentos específicos (formulário HS1) e preencher a declaração (formulário HS2) fornecida no manual de instruções incluído com o equipamento.

3.4.2 Materiais corrosivos

Ao bombear materiais corrosivos com bombas de vácuo Edwards, deve ter em conta os seguintes pontos:

- **Entrada de humidade** - Deve ter especial cuidado para impedir a entrada de ar húmido que possa acelerar os efeitos corrosivos. Deve ser utilizada uma purga inerte como parte do procedimento de desativação para retirar os produtos corrosivos do sistema antes do encerramento.
- **Diluição** - Utilize um gás de diluição inerte adequado para evitar a condensação de produtos corrosivos e, conseqüentemente, mitigar a corrosão resultante.
- **Temperatura** - Aumente a temperatura da bomba e linha de exaustão para evitar a condensação de vapor de água, limitando assim a subsequente corrosão. Em alguns casos, as temperaturas mais altas poderão aumentar a velocidade de corrosão; consulte o parágrafo abaixo.

- **Corrosão de equipamento de segurança** - Nos casos em que o equipamento crítico de segurança (como elementos de corta-chamas, sensores de temperatura e outros) possa ser danificado por produtos corrosivos no fluxo de gás de processo, os respetivos materiais de construção devem ser selecionados de modo a eliminar este perigo.
- **Permutas de fase** - As permutas de fase não planeadas podem resultar em condensação. É necessário ter em conta as alterações de temperatura e pressão de modo a evitar este perigo.
- **Reações não planeadas** - As reações químicas não planeadas podem levar à criação de produtos corrosivos. Deve ter-se especial atenção à possibilidade de contaminação cruzada quando o equipamento é utilizado para mais do que um objetivo.

Alguns materiais corrosivos, tais como flúor, cloro, outros halogéneos ou halogenetos e agentes oxidantes como o ozono ou agentes redutores como o sulfeto de hidrogénio, podem atacar os materiais com os quais entrem em contacto, sem necessidade de presença de um líquido. Nestes casos, a pressão parcial do material corrosivo deverá ser minimizada com recurso a um gás de diluição adequado. Os materiais de construção do modelo da bomba e do sistema de vácuo devem ser selecionados por serem compatíveis com o gás em questão, nas concentrações esperadas. As altas temperaturas podem acelerar a corrosão e devem, portanto, ser minimizadas quando permitido pelas outras considerações de processo. Os intervalos de manutenção devem ser revistos para avaliar o efeito de materiais corrosivos no sistema.

3.5 Resumo – fontes químicas de perigo

- Tenha em conta todas as Reações químicas possíveis no interior do seu sistema.
- Mantenha uma tolerância para Reações químicas anormais, incluindo as que podem ocorrer em condições de falha.
- Consulte as folhas de dados de segurança de materiais quando avaliar os potenciais perigos associados aos seus materiais de processo.
- Utilize técnicas de diluição para minimizar as Reações com oxidantes e materiais inflamáveis.
- Na UE, tem de utilizar uma bomba de vácuo ATEX certificada e adequada nos casos em que tenha sido especificada uma zona inflamável. Para todas as outras regiões, a Edwards recomenda a utilização de bombas que tenham sido certificadas ao abrigo da diretiva ATEX, quando possível.
- Utilize o tipo correto de lubrificante na sua bomba ao bombear oxidantes e considere a utilização de uma bomba seca.
- Não utilize metais pesados no percurso do gás no seu sistema de processo se o seu processo utilizar ou produzir azida de sódio.
- Tenha especial cuidado ao manusear materiais tóxicos, corrosivos ou instáveis.

4. Fontes físicas de perigo

4.1 Tipos de perigos de sobrepressão

A sobrepressão de componentes num sistema de vácuo pode resultar de qualquer um dos seguintes factores:

- introdução de gás de alta pressão no sistema;
- compressão de gás pelo sistema;
- aumento repentino da temperatura de gás volátil no sistema;
- permuta de fase que leve ao depósito de produtos sólidos;
- reação dentro do sistema de vácuo;
- escape bloqueado.

São possíveis outras causas.

4.2 Escape da bomba em sobrepressão

Uma das causas mais comuns de um escape em sobrepressão é um bloqueio ou uma restrição do sistema de escape. Tal pode levar a uma falha da bomba ou de outros componentes no sistema.

As bombas de vácuo são compressores especificamente concebidos para funcionar com elevadas relações de compressão de saída/entrada.

Para além da potencial sobrepressão causada pelo funcionamento da bomba, a introdução de um gás comprimido (como um gás de purga ou diluição) pode também provocar a sobrepressão do sistema se o sistema de escape estiver restringido ou bloqueado.

Quando uma bomba tiver um corta-chamas ou outro equipamento instalado como filtros ou condensadores no lado do escape, é essencial que a contrapressão de escape não exceda o limite máximo definido no manual de instruções do sistema de vácuo. Deve ser aplicado um programa de manutenção adequado de modo a assegurar que os depósitos do processo não bloqueiam o sistema de escape e o corta-chamas. Se tal não for prático, deve então utilizar-se um sensor de pressão localizado entre a bomba e o corta-chamas para detetar qualquer bloqueio. Deve ser dada semelhante atenção a outro equipamento de escape, como filtros e condensadores.

A sublimação ou a permuta de fase pode levar a um bloqueio por depósitos sólidos da conduta do processo e ao perigo de sobrepressão.

Leia os manuais de instruções fornecidos com o sistema de bombeamento de vácuo para obter informações sobre as contrapressões contínuas e máximas recomendadas de todos os componentes de escape, incluindo a bomba de vácuo. Conceba o sistema de escape de modo a que estes limites possam ser cumpridos.

Para conhecer os limites durante o funcionamento contínuo, consulte o manual de instruções da bomba.

4.3 Proteção contra sobrepressão de escape

Normalmente, recomendamos que as bombas funcionem com a tubagem de escape orientada para um sistema de escape com ventilação livre. No entanto, o seu sistema de escape pode incorporar componentes que podem provocar a restrição ou o bloqueio do

sistema. Se for o caso, deve também incorporar métodos adequados de proteção contra sobrepressão. Estes métodos incluem, por exemplo:

Componente	Método de proteção
Válvula na tubulação de exaustão	Interbloquee a válvula de modo a que esteja sempre aberta quando a bomba estiver em funcionamento.
	Incorpore um by-pass de descompressão.
Lavador de escape	Incorpore um by-pass de descompressão.
	Incorpore um monitor de pressão e interbloquee-o com a bomba, de modo a que a bomba seja desligada quando a pressão de exaustão for demasiado alta.
Corta-chamas	Medição da pressão de exaustão.
	Medição da pressão diferencial.
Filtro de névoa de óleo	Incorpore um dispositivo de descompressão.

Resumindo, se a pressão no sistema de escape se aproximar da pressão máxima permitida:

- Reduza a pressão com um dispositivo colocado no percurso do gás, em paralelo com a restrição ou o bloqueio.
- Reduza a fonte da pressão. Pare a bomba ou desligue qualquer fornecimento de gás comprimido.

4.4 Sobrepressão de entrada

4.4.1 Suprimento de gás comprimido e contrapressão

É frequente subestimar a classificação de pressão necessária para a ligação da conduta da bomba ao sistema de vácuo, por se acreditar que esta conduta não estará sujeita a pressões acima da pressão atmosférica. Na prática, isto apenas é verdade em condições de funcionamento com design normal. Deve estimar a classificação de pressão necessária para permitir uma tolerância de pressões mais altas que sejam provocadas por condições anormais ou de falhas.

Uma das causas mais comuns de sobrepressão em tubulação de entrada da bomba é a introdução de gases comprimidos (tais como gases de purga) quando a bomba não está em funcionamento. Se os componentes na tubulação de entrada não forem adequados às pressões resultantes, ocorrerá a ruptura da conduta e a fuga de gases de processo do sistema. O retorno do fluxo de gases do sistema para uma câmara de processo que não seja capaz de suportar por si só a pressão daí resultante também provocará rupturas e fugas.

Ao ligar fontes de gás comprimido ao seu sistema através dos reguladores de pressão que são concebidos para fornecer um fluxo de baixa pressão, certifique-se de que a pressão se encontra dentro da classificação do sistema.

Os reguladores de pressão sem ventilação geralmente utilizados farão com que a pressão dentro do sistema aumente para a pressão do fornecimento de gás para o regulador, em condições em que não haja fluxo de gás de processo pelo sistema. Como tal, deve recorrer a um dos dois métodos que se seguem para evitar a sobrepressão:

- reduzir a pressão, permitir o by-pass dos gases na bomba e o fluxo para um sistema de escape com ventilação livre;
- monitorizar a pressão do sistema e utilizar uma válvula de fecho positivo para desligar o fornecimento de gás comprimido a um nível de pressão predefinido.

4.4.2 Funcionamento incorreto da bomba

Devem ser tidas precauções especiais até ter sido estabelecido que a bomba funciona corretamente.

Se a direção de rotação da bomba estiver incorreta e a bomba funcionar com a entrada bloqueada ou restringida, a bomba irá gerar alta pressão na tubulação de entrada. Isto pode resultar na ruptura da bomba, das condutas e/ou dos componentes nas condutas.

Utilize sempre uma placa de obturação fixada livremente com parafusos à entrada da bomba até ter estabelecido que a direção de rotação da bomba está correta.

O funcionamento a elevadas velocidades de rotação pode resultar na destruição da bomba. A bomba não deve funcionar com velocidades de rotação superiores à velocidade máxima concebida para rotação; isto é particularmente importante quando forem utilizados conversores de frequência para controlo da velocidade.

4.5 Resumo – fontes físicas de perigo

- Quando realizar cálculos de segurança, certifique-se de que são tidas em conta todas as pressões seguras de trabalho para todos os componentes do sistema.
- Certifique-se de que o escape da bomba não pode ficar bloqueado ou restringido.
- Se houver o risco de ocorrência de altas pressões que excedam a classificação de pressão de qualquer parte do sistema de vácuo, recomendamos que o seu sistema incorpore equipamento de medição de pressão devidamente posicionado. Este deve estar ligado ao seu sistema de controlo para colocar o seu sistema num estado seguro, se for detetada uma condição de sobrepressão.
- Tenha em conta condições anormais e de falhas quando avaliar a classificação de pressão necessária para os componentes da bomba e sistema de vácuo.
- Certifique-se de que incorpora o tipo correto de dispositivo de descompressão e de que este tem a classificação adequada para a sua aplicação.
- Certifique-se de que as fontes de gás comprimido são devidamente reguladas e monitorizadas. Desligue o fornecimento se a bomba for desligada.
- Sempre que possível, certifique-se de que a pressão de fornecimento para quaisquer purgas reguladas é inferior à pressão estática máxima permitida do sistema. Em alternativa, certifique-se de que a descompressão é possível em caso de falha de componentes.

5. Análise de perigos

As técnicas de análise de perigos fornecem uma abordagem estruturada quanto à identificação e análise dos perigos num sistema com utilização normal e dos perigos que podem surgir em condições de falhas e avarias. Estas técnicas fornecem uma orientação para a gestão de perigos; a utilização destas técnicas pode, em muitas circunstâncias, ser um requisito estatutário/legal. Para serem totalmente eficazes, as análises de perigos devem começar na fase inicial de concepção de um sistema e continuar ao longo da instalação e funcionamento, bem como na manutenção e desativação do mesmo.

Um estudo detalhado das técnicas de análise de perigos está fora do âmbito desta publicação. No entanto, encontram-se muitas técnicas de análise de perigos descritas noutros documentos. Um exemplo de uma técnica geralmente utilizada na indústria de processamento de químicos é o HAZOP (Hazard and Operability Study / Estudo de operacionalidade e perigos). Este é um procedimento para análise de perigos que se concentra na identificação de potenciais perigos e problemas de funcionamento.

Em condições típicas, as análises de perigos geram informações sobre o tipo de perigos, a sua gravidade dos mesmos e a probabilidade da sua ocorrência. Estas informações podem ser utilizadas para tomar decisões sobre a melhor forma de reduzir os efeitos dos perigos para níveis aceitáveis. Dependendo da origem do perigo, pode ser possível eliminá-lo, reduzir a sua gravidade e/ou até mesmo reduzir a probabilidade da sua ocorrência. No entanto, é raro que os perigos possam ser completamente eliminados.

Deve ponderar todos os efeitos possíveis de um perigo quando decide sobre a melhor forma de lidar com o mesmo. Por exemplo, uma pequena superfície quente pode representar um perigo menor para um operador, na medida em que poderia provocar uma queimadura. Para reduzir a probabilidade de ocorrência de uma queimadura, quem concebe o sistema pode providenciar um aviso visível indicando que há uma superfície quente, ou pode colocar uma proteção em torno da superfície quente. No entanto, a análise de perigos do sistema pode também indicar que a mesma superfície quente pode constituir uma fonte de ignição para vapores inflamáveis; isto poderia levar a uma explosão ou à libertação de uma nuvem de vapor tóxico. Para reduzir a probabilidade de ignição, quem concebe o sistema deve reduzir a temperatura da superfície quente ou certificar-se de que os vapores inflamáveis não entram em contacto com a superfície quente.

6. Design do sistema

6.1 Classificações de pressão num sistema

Conforme abordado em Fontes de perigo físicas Fontes físicas de perigo [Fontes físicas de perigo](#) na página 15, os componentes e as condutas do sistema de vácuo são concebidos para funcionar com pressões internas abaixo da pressão atmosférica. Contudo, na prática, é muitas vezes necessário conceber um sistema para utilização com pressões internas acima da pressão atmosférica. Se necessário, deve incorporar dispositivos de descompressão de modo a evitar a sobrepressão.

É importante que não permita que as condutas e outros componentes das condutas de entrada se tornem na parte mais fraca do sistema, presumindo que estes funcionarão sempre sob vácuo, mesmo em condições de falha.

Os sistemas de escape devem ser sempre concebidos de modo a oferecer a contrapressão mais baixa possível para a bomba durante o funcionamento. No entanto, é importante que conceba o seu sistema de escape com uma classificação de pressão adequada; deve ser adequada para utilização com pressões que possam ser geradas pela bomba e também, por exemplo, pela introdução de um gás comprimido no sistema, devendo ainda ser adequada para utilização com as medidas aplicadas para proteção contra sobrepressão.

Quando efetuar a sua análise de perigos, deve ter sempre em conta o seguinte:

- Entradas externas, tais como ligações de gás inerte;
- Isolamento e constrição de todas as fontes, especialmente nas linhas de exaustão
- Reações entre gases de processo.

Deve ter-se em conta que, quando um reservatório contém um líquido volátil e pode ser isolado do resto do sistema, a aplicação de calor externo (por exemplo, de uma chama) pode resultar em pressões internas superiores à pressão de design do reservatório. Neste caso, deve considerar a necessidade de um dispositivo adequado para descompressão.

6.2 Eliminação de volumes estagnados

Um volume estagnado é qualquer volume numa tubagem ou componente de vácuo que não é sujeito à passagem de um fluxo de gás. Alguns exemplos são a caixa de engrenagens de uma bomba booster mecânica ou o cabeçote do medidor de um instrumento. As condutas com válvulas e os tubos de entrada de gás azoto também podem transformar-se em volumes estagnados quando são isolados.

Os volumes estagnados devem ser tidos em conta quando considera a mistura e reação de gases de processo que não estão normalmente presentes em conjunto na câmara de processo. Os tubos, as bombas e as câmaras de processo transportam geralmente gases de forma linear, com um gás ou uma mistura de gás seguido de outro. Os gases transportados nestes fluxos lineares não são normalmente misturados, a não ser que a velocidade do gás de exaustão seja reduzida por uma restrição ou bloqueio. Um volume estagnado não é purgado e pode ser preenchido com gases de processo à medida que a pressão no sistema aumenta e diminui. Desta forma, pode haver retenção dos gases que passam pelo sistema numa fase do processo. Estes podem depois reagir com os gases de uma fase subsequente do processo. Uma evacuação adequada da câmara entre a introdução de gases incompatíveis ajudará a proteger contra o risco de explosão.

Deve ter especial cuidado ao considerar a contaminação cruzada em volumes estagnados e quando os gases são potencialmente explosivos. Em particular, deve considerar o perigo de

acumulação em filtros e separadores, entre outros componentes. Quando apropriado, utilize fluxos contínuos e com elevada integridade de gás de purga inerte para reduzir a probabilidade de contaminação cruzada.

Ao bombear substâncias inflamáveis, é possível que os volumes estagnados sejam preenchidos com gases ou vapores potencialmente explosivos que não possam ser removidos através da purga normal. Nos casos em que também possa estar presente uma fonte de ignição, deve ser considerada a purga específica do volume estagnado.

6.3 Sistemas de extração de escape

É importante que utilize o tipo correto de sistema de extração de escape para o seu processo. Tal como explicado anteriormente, o sistema de extração deve ser concebido para suportar as pressões de operação e, quando forem produzidos ou processados materiais perigosos, deve ter uma estanqueidade suficiente para conter os materiais do processo e os respetivos subprodutos e para evitar libertações perigosas para a atmosfera.

6.4 Fontes de misturas de vapor ou gás potencialmente explosivas

Quando um gás ou vapor inflamável se combina com a concentração correta de oxigénio ou outro oxidante adequado, formará uma mistura potencialmente explosiva que pode entrar em ignição na presença de uma fonte de ignição.

Embora seja na generalidade evidente, se um material bombeado for potencialmente explosivo, existem, de acordo com a experiência da Edwards, algumas condições em que uma mistura potencialmente explosiva se produz devido a condições que não foram consideradas aquando da concepção do sistema para o processo. Deve identificar todas as condições de processo e fontes possíveis de misturas potencialmente explosivas que poderiam ser geradas pelo seu equipamento. Encontram-se listados abaixo alguns exemplos segundo a experiência da Edwards, mas esta lista não é, de todo, exaustiva:

- **Contaminação cruzada** - Quando uma bomba de vácuo for utilizada para mais do que uma tarefa, é possível que a sua utilização com materiais individuais seja segura, mas se a bomba não for purgada antes da utilização com outro material, pode ocorrer contaminação cruzada com Reações inesperadas.
- **Líquidos de limpeza** - Uma aplicação pode ser considerada benigna, mas a utilização de líquidos de limpeza inflamáveis e a posterior secagem por evacuação através da bomba de vácuo pode criar uma mistura potencialmente explosiva.
- **Materiais inesperados** - Em tarefas de "aspiração central" em que a bomba de vácuo é utilizada para fornecer um sistema de vácuo distribuído, é possível bombear materiais inflamáveis que não foram considerados durante a concepção do sistema. Estes materiais podem ter temperaturas de autoignição inferiores às temperaturas internas ou à classificação de temperatura da bomba de vácuo.
- **Vapores dissolvidos** - Estes podem evoluir durante a operação em processo e é preciso ter cuidado para selecionar a classificação de temperatura interna correta para o processo. Normalmente, isto está incluído nos requisitos ATEX, no mercado de processos químicos.
- **Fugade ar** - A entrada accidental de ar ou oxidante num sistema pode alterar a concentração de gás ou vapor inflamável e criar uma mistura potencialmente explosiva.
- **Líquidos vedantes inflamáveis** - Quando for utilizado um líquido inflamável como líquido vedante numa bomba de vácuo de anel líquido, a entrada de ar criará uma mistura interna potencialmente explosiva.

- **Materiais de processo condensados** - Se existir a possibilidade de condensação de material inflamável dentro do sistema, deve ter em conta que este poderá reagir com oxidantes de outros passos do processo ou com o ar (por exemplo, no escape). Isto pode ser evitado mantendo a temperatura adequada ou o controlo parcial de pressão.

6.5 Evitar a zona inflamável

Um material inflamável apenas criará uma atmosfera potencialmente explosiva se for combinado com ar ou oxigénio ou outro oxidante e a sua concentração estiver entre o limite inferior de inflamabilidade (LFL - Lower Flammability Limit) ou limite inferior de explosão (LEL - Lower Explosion Limit) e o limite superior de inflamabilidade (UFL - Upper Flammability Limit) ou limite superior de explosão (UEL - Upper Explosion Limit). Note-se que a maioria dos dados existentes se refere aos limites de inflamabilidade no ar, ou seja, quando o oxigénio é o oxidante. Toda a informação abaixo detalhada basear-se-á nessa suposição.

Para ser potencialmente explosiva, também é necessário que a concentração de oxigénio esteja acima da concentração mínima de oxigénio (MOC - Minimum Oxygen Concentration) ou concentração de oxigénio limitadora (LOC - Limiting Oxygen Concentration). Para a maioria dos gases inflamáveis, o volume de MOC (LOC) é de 5% ou superior. (Nota: Isto não se aplica a materiais pirofóricos que requerem precauções especiais.)

Podem ser utilizadas várias estratégias para evitar o funcionamento com misturas de gás na zona inflamável. A escolha da estratégia dependerá do resultado da avaliação de risco (análise de perigos) para o processo e o sistema de bombeamento:

- **Manter a concentração de gás inflamável abaixo do LFL (LEL)**

Para minimizar o risco de entrada accidental de gás inflamável na zona inflamável, deve manter-se uma margem de segurança para funcionamento abaixo do LFL (LEL).

Deve ser definida uma margem de segurança pelo utilizador após uma avaliação de riscos. Algumas autoridades sugerem manter a concentração inferior a 25% do LFL (LEL).

O método tipicamente utilizado para manter uma concentração adequada abaixo do LFL (LEL) é a diluição com purga de gás inerte (por exemplo, azoto), introduzido na entrada da bomba e/ou ligações de purga. A integridade necessária do sistema de diluição e de quaisquer alarmes ou interbloqueios dependerá da zona de perigo que resultaria se o sistema de diluição falhasse.

 **Nota:**

Certifique-se de que toma as precauções necessárias para evitar o risco de asfixia.

- **Manter a concentração de oxigénio abaixo da MOC (LOC)**

Este modo de funcionamento requer a monitorização da concentração de oxigénio dos gases bombeados de modo a assegurar um funcionamento com segurança. Para minimizar o risco de entrada accidental do gás inflamável na zona inflamável, deve manter-se uma margem de segurança para funcionamento abaixo da MOC (LOC). Os padrões da indústria disponíveis indicam que, quando a concentração de oxigénio é continuamente monitorizada, esta deve ser mantida com um volume inferior a 2 pontos percentuais abaixo da mais baixa MOC (LOC) publicada para a mistura de gás. A não ser que a MOC (LOC) esteja abaixo de 5%, a concentração de oxigénio deve ser mantida abaixo de 60% da MOC (LOC). Se a monitorização apenas for efetuada na forma de verificações rotineiras do nível de oxigénio, o

nível de oxigénio não deve exceder 60% da mais baixa MOC (LOC) publicada, a não ser que a MOC (LOC) seja inferior a 5%, devendo neste caso manter-se a concentração de oxigénio inferior a 40% da MOC (LOC).

O método preferencial para manter o nível de oxigénio abaixo da mais baixa MOC (LOC) publicada consiste na rigorosa exclusão de ar e oxigénio do processo e do sistema da bomba, juntamente com a diluição do gás bombeado com um gás de purga inerte (como o azoto), introduzido na entrada da bomba e/ou ligações de purga, caso seja necessário. A integridade necessária das medidas de exclusão de ar/oxigénio e de quaisquer alarmes ou interbloqueios dependerá da zona de perigo que resultaria se os sistemas de diluição e exclusão falhassem.

As precauções necessárias em condições típicas para excluir rigorosamente ar do processo e do sistema da bomba são indicadas no final desta secção.

- **Manter a concentração de gás inflamável acima do UFL (UEL)**

Nos casos em que as concentrações de gás inflamável são altas, o funcionamento acima do UFL (UEL) pode ser mais adequado. Para minimizar o risco de qualquer entrada acidental na zona inflamável, deve manter-se uma margem de segurança para funcionamento acima do UFL (UEL). Recomenda-se que o nível de oxigénio residual no gás seja mantido a menos de 60% do nível de oxigénio absoluto que normalmente está presente numa concentração de UFL (UEL) de gás inflamável.

O método preferencial para manter o nível de oxigénio abaixo desta margem de segurança consiste na rigorosa exclusão de ar e oxigénio do processo e do sistema da bomba. Pode também ser necessário proceder à diluição do gás bombeado com um gás de purga inerte (como

o azoto) ou com gás inflamável adicional ("gás de enchimento"), introduzido na entrada da bomba e/ou ligações de purga. A integridade necessária das medidas de exclusão de ar, de qualquer sistema de introdução de gás de purga e de quaisquer alarmes ou interbloqueios dependerá da zona de perigo que resultaria se os sistemas de diluição e exclusão falhassem.

- **Manter a concentração de gás inflamável abaixo da pressão mínima de explosão**

Todo o material inflamável tem uma pressão mínima abaixo da qual não é possível ocorrer uma explosão. Se a pressão na entrada para a bomba de vácuo puder ser mantida com segurança abaixo desta pressão, as ignições que comecem dentro da bomba de vácuo não poderão alastrar para a entrada. Contudo, devem ser tomadas precauções quanto ao escape da bomba de vácuo.

As precauções necessárias em condições típicas para excluir rigorosamente ar do processo e do sistema da bomba são as seguintes:

- **Eliminação de fugas de ar**

Utilize um detector de fugas ou realize um teste da "taxa de aumento" de pressão. Antes de admitir materiais inflamáveis na câmara de processo, é possível executar um teste para estabelecer se a fuga de ar (oxigénio) para o sistema de vácuo está dentro dos limites permitidos.

Para efetuar um teste de "taxa de aumento" de pressão, a câmara de processo vazia deve ser evacuada para uma pressão imediatamente abaixo da pressão de funcionamento normal e, depois, isolada da bomba de vácuo. A pressão na câmara de processo é então registada durante um período de tempo fixo. Quando o volume da câmara de processo for conhecido, bem como a fuga de ar máxima permitida, é possível calcular o aumento de pressão máxima permitido que pode ocorrer durante um período de tempo fixo. Se este limite máximo de pressão for excedido, devem ser tomadas medidas para vedar a fonte da fuga de ar (oxigénio) para a câmara de processo; o teste deve então ser repetido com sucesso antes de ser permitida a admissão de materiais inflamáveis na câmara de processo.

Em alguns casos, a capacidade de o sistema de vácuo atingir uma boa pressão de base pode ser utilizada para indicar a estanqueidade do sistema.

- **Remova todo o ar do sistema antes do início do processo**

Antes da admissão de qualquer gás inflamável no processo, o sistema deve ser totalmente evacuado e/ou purgado com gás inerte (como o azoto), de modo a remover todo o ar do sistema. No final do processo, repita este procedimento para remover qualquer gás inflamável antes de o sistema ser finalmente ventilado para o ar.

- **Para bombas de vácuo secas**

Certifique-se de que, em quaisquer circunstâncias, nenhum gás de vedação do veio ou de purga pode ser fornecido ou contaminado com ar e certifique-se de que qualquer porta de lastro de gás é vedada ou apenas utilizada para introduzir gás inerte.

- **Para bombas de vácuo húmidas (por exemplo, bombas de êmbolo em banho de óleo ou aletas rotativas)**

Mantenha as vedações do veio totalmente em conformidade com as instruções do fabricante e utilize um sistema de lubrificação de óleo pressurizado e bombeado com uma indicação de alarme para perda de pressão de óleo. Este sistema pode incluir um acessório externo para fornecer óleo de lubrificação pressurizado e filtrado, com um interruptor de pressão. Certifique-se de que qualquer porta de lastro de gás é vedada ou apenas utilizada para introduzir gás inerte. Forneça uma purga adequada de gás inerte para a caixa de óleo, para remover o ar antes do início do processo.

- **Para bombas booster de vácuo Roots**

Mantenha a vedação do eixo de acionamento primário totalmente em conformidade com as instruções do fabricante e certifique-se de que quaisquer ligações de purga ou da porta do "respiradouro" apenas podem ser utilizadas para introduzir gás inerte.

- **Fluxo inverso**

Certifique-se de que as instalações e os procedimentos de funcionamento do sistema protegem o sistema contra qualquer fluxo de ar inverso, que poderia resultar numa falha da bomba. Certifique-se de que quaisquer gases inflamáveis bombeados são eliminados com segurança na ventilação final do escape da bomba. Certifique-se de que não podem surgir misturas de gás inflamável na conduta de escape utilizando uma purga inerte adequada para a conduta antes do início e depois do final do processo de gás inflamável e, além disso, utilizando a purga de gás inerte adequada durante o funcionamento, de modo a evitar uma turbulenta remistura de ar na área de exaustão.

6.6 Níveis de integridade do sistema

Os métodos de proteção com recurso à diluição de gás inerte foram abordados resumidamente em secções anteriores. O princípio do método consiste em misturar gás inerte (normalmente azoto) com os gases do seu processo para os diluir até um nível em que não possa ocorrer uma explosão ou reação. Quando utiliza a diluição de gás como o sistema de segurança primário para proteção contra uma possível explosão, deve requerer um sistema de interbloqueio e alarme de alta integridade para evitar o funcionamento do sistema quando o sistema de diluição de gás não está funcional. A integridade do sistema de diluição de gás deve ser tida em conta durante a avaliação de risco (análise de perigos) e dependerá da definição das zonas internas (ou seja, níveis de risco) que resultariam se o

sistema de diluição falhasse. As melhores práticas atuais devem ser sempre aplicadas na avaliação de risco, para determinar os níveis requeridos para integridade do sistema.

Por exemplo, se um sistema de diluição for utilizado para manter uma concentração de gás inflamável fora da zona inflamável e o resultado da falha da diluição levar a que o gás bombeado entre na zona inflamável, de forma contínua ou durante longos períodos de tempo (normalmente, o requisito de Zona 0 de ATEX consideraria >50%), o sistema de diluição tem de satisfazer um dos seguintes requisitos:

- Ser à prova de falhas, mesmo em caso de uma rara anomalia;
- Ser seguro, mesmo com a presença de duas falhas;
- Compreender dois sistemas de fornecimento de diluição independentes.

Em alternativa, se o resultado de uma falha no sistema de diluição for a entrada ocasional do gás bombeado na zona inflamável (em condições típicas, uma condição de Zona 1 de ATEX), o sistema de diluição tem de satisfazer um dos seguintes requisitos:

- Ser à prova de falhas, mesmo em caso de anomalias esperadas;
- Ter segurança, mesmo com a presença de uma falha.

Se o resultado de uma falha no sistema de diluição for a entrada improvável do gás bombeado na zona inflamável, ou que tal aconteça apenas por breves instantes (em condições típicas, uma condição de Zona 2 de ATEX), o sistema de diluição tem de apresentar segurança com funcionamento normal.

6.7 Utilização de sistemas de proteção de corta-chamas

Se a mistura de gases e vapores for inflamável (ver [Evitar a zona inflamável](#) na página 21) continuamente ou durante longos períodos de tempo (isto é, uma condição de Zona 0) e se houver risco de uma fonte de ignição (ver [Fontes de ignição](#) na página 25) se tornar ativa durante o funcionamento normal ou anómalo previsível, tem de instalar corta-chamas conforme necessário na sua bomba primária (ver também [Corta-chamas](#) na página 31). Foi obtida certificação de terceiros para a utilização de corta-chamas específicos com bombas de vácuo Edwards, demonstrando a respetiva capacidade de evitar a transmissão de chamas ao longo da conduta do processo ou para a atmosfera circundante.

Quanto a mistura inflamável estiver presente durante longos períodos de tempo, um transmissor de temperatura testado e aprovado tem de ser instalado no corta-chamas de entrada para detetar chamas contínuas. Se for detetada uma chama contínua, a bomba tem de ser desativada e isolada da fonte de combustível. Entre em contacto com a Edwards para pedir conselhos sobre corta-chamas e transmissores de temperatura aprovados. Para proteger o corta-chamas e a bomba a nível térmico, sob funcionamento anómalo raro (Zona 0) da bomba, tem de ser instalado um transmissor de temperatura do escape no escape da bomba. Os pontos de desativação dependem dos sistemas de bombeamento. Consulte o manual ATEX relevante para a bomba.

Se o transmissor de temperatura na entrada ou o escape atingirem o limite máximo, indicando uma condição de falha, têm de ser tomadas medidas adequadas. Isto depende da aplicação, mas pode incluir:

- **Parar o fornecimento de combustível** - Ao fechar a válvula localizada na entrada da bomba de vácuo, evitará o fornecimento de combustível para a bomba de vácuo.
- **Parar a fonte da ignição** - Ao parar a bomba de vácuo desligando a alimentação do motor.
- **Tornar inerte a área da chama** - A rápida adição de gás inerte na área de chama (em condições típicas, mas não sempre, localizada no coletor de exaustão da

bomba) extinguirá esta última. Tenha em conta que é possível que uma chama volte a entrar em ignição caso a fonte de ignição não seja removida.

6.8 Fontes de ignição

Quando as bombas de vácuo são utilizadas para bombear misturas inflamáveis, tem de considerar todas as fontes de ignição possíveis. Abaixo encontram-se algumas áreas a considerar e que pode utilizar como parte de uma análise geral. Dependendo do processo, poderá evitar algumas ou todas as fontes de ignição. Se for impossível evitar fontes de ignição devido à condição de processo ou requisitos de sistema, terá de conceber o sistema de forma apropriada.

Nota:

Algumas bombas Edwards são certificadas por uma entidade independente, de modo a confirmar que (quando aplicadas corretamente) têm capacidade para conter uma explosão interna.

- **Contacto mecânico** - O contacto mecânico de partes rotativas e fixas dentro do sistema e da bomba de vácuo pode fornecer uma fonte de ignição. Todas as bombas de vácuo Edwards são concebidas e construídas de forma a terem as folgas corretas dentro da bomba em todas as condições de funcionamento. Para evitar esta fonte de ignição, é importante evitar o depósito de materiais nas superfícies internas ou limpar a bomba. Os rolamentos têm de ser mantidos em boas condições, ter lubrificação suficiente e gás de purga adequado para eliminar o contacto entre gases de processo. O regime de manutenção recomendado para os rolamentos deve ser seguido para garantir a operação segura e fiável.
- **Ingestão de partículas** - Todos os mecanismos de bombeamento têm o potencial de ingerir partículas criadas pelo processo ou que resultem do processo de fabrico do sistema. Quando há fricção entre uma superfície em movimento e outra estática, é possível gerar calor. As telas de entrada (malha) ou filtros adequados evitarão a entrada de partículas na bomba de vácuo, de forma a reduzir o tamanho e volume das partículas para uma quantidade segura. Deve ter o cuidado de manter um regime de manutenção adequado para a tela de entrada.
- **Acumulação de poeiras** - A acumulação de poeiras finas compactas em folgas internas pode ocorrer nos casos em que um mecanismo de bombeamento esteja colocado num processo de geração de poeiras. Mesmo com a utilização de filtros de poeiras de entrada, é possível que pequenas partículas entrem na bomba. Com pequenas alterações dimensionais devidas a mudanças térmicas, as poeiras compactas podem entrar em contacto com uma superfície em movimento e gerar calor.
- **Calor de compressão (autoignição)** - O calor interno da compressão dentro de qualquer compressor deve ser considerado relativamente à temperatura de autoignição de quaisquer gases ou vapores que sejam bombeados. É necessário verificar se a bomba tem uma classificação de temperatura que seja, pelo menos, igual ou superior aos gases que está a bombear.
- **Superfícies quentes** - Quando vapores ou gases inflamáveis entrarem em contacto com uma superfície quente, podem entrar em ignição se for excedida a temperatura de autoignição. Nota: As bombas Edwards e os corta-chamas não devem ter isolamento térmico nas situações em que isso possa provocar o aumento interno e externo da temperatura de uma superfície que leve a autoignição.
- **Aplicação externa de calor** - A aplicação externa de calor pode ocorrer, por exemplo, em caso de fogo na área imediatamente contígua ao equipamento de

vácuo. Nestas condições, é possível gerar pressão interna que excede a pressão estática máxima do sistema e temperaturas que excedem a temperatura de autoignição. Isto deve ser considerado como parte da análise de perigos do sistema.

- **Fluxo de gás de processo quente** - As altas temperaturas de gás de entrada podem levar a que as superfícies internas (ou externas) excedam a temperatura de autoignição dos materiais a serem bombeados. O gás de entrada de alta temperatura pode também levar ao bloqueio do rotor/estator. Consulte o manual de instruções da bomba de vácuo para conhecer as temperaturas máximas permitidas para o gás a nível interno. Para obter instruções mais específicas, contacte a Edwards.
- **Reação catalítica** - A presença de determinados materiais pode levar a uma ignição catalítica. Todos os materiais de construção no sistema de vácuo devem ser tidos em conta quanto ao seu potencial de agir desta forma com os gases ou vapores bombeados.
- **Reação pirofórica** - O calor de combustão de materiais pirofóricos causado pela entrada de ar ou oxidantes pode atuar como fonte de ignição para qualquer material inflamável presente. Ver *Materiais pirofóricos* na página 11.
- **Eletricidade estática** - Podem ocorrer algumas condições em que se acumule eletricidade estática em componentes isolados antes de ser descarregada para a terra na forma de uma faísca. O potencial de acumulação estática deve ser considerado como parte da concepção do sistema.
- **Relâmpagos** - Quando a localização é no exterior, a incidência de relâmpagos pode provocar energia de ignição. O potencial de ocorrência deste evento deve ser considerado como parte da concepção do sistema.

6.9 Resumo – concepção do sistema

Para conceber sistemas de bomba de vácuo seguros, devem ser tidas em consideração as questões que se seguem. Dependendo da aplicação, podem existir outras.

- Se bombear materiais perigosos, deve conceber o sistema para falhar para uma condição segura;
- Utilize lubrificantes de PFPE (perfluoropoliéter) nas bombas se fizer bombeamento de oxidantes;
- Quando for utilizado gás inerte para reduzir a concentração de gás inflamável para níveis inferiores ao limite de explosão ou de inflamabilidade ou abaixo da concentração mínima ou inferior de oxidantes, deve garantir a integridade do fornecimento de gás inerte;
- A concentração também pode ser mantida acima do limite superior de explosão ou inflamabilidade, mas devem ser colocadas em prática precauções de segurança adequadas para garantir que a concentração não entra no limite de inflamabilidade;
- Realize testes de fugas nos sistemas e equipamentos para garantir a estanqueidade antes da utilização;
- Dilua os gases pirofóricos até níveis seguros com um gás inerte antes de os gases serem libertados para a atmosfera ou misturados com gases oxidantes;
- Não deve permitir que ocorra contacto entre a azida de sódio e os metais pesados em qualquer parte do percurso do gás do seu sistema;
- Não deve permitir que a pressão máxima do sistema exceda o nível de segurança individual de qualquer parte individual do sistema;

- Deve consultar sempre a informação de segurança fornecida para as substâncias que tenciona bombear;
- Considere a utilização de bombas secas em vez de bombas de aletas rotativas ou de êmbolo com banho de óleo quando houver riscos associados ao óleo no volume deslocado;
- Quando forem utilizadas bombas de vácuo Edwards para bombear misturas potencialmente inflamáveis, deve ter em conta todas as possíveis fontes de ignição e o potencial risco de explosão.

7. A escolha correta de equipamento

Para garantir que escolhe o equipamento correto para a sua aplicação, deve ter em conta os limites dentro dos quais necessitará que o sistema opere. Os dados técnicos para equipamento Edwards são indicados no nosso catálogo de produtos, em publicações de marketing e nos manuais de instruções do equipamento. Na maior parte dos casos, está disponível mais informação mediante pedido; para obter instruções mais específicas, contacte a Edwards.

Ao conceber o seu sistema de vácuo, tenha em conta os parâmetros relevantes para a bomba mecânica, como, por exemplo:

- Pressão estática máxima (entrada e escape);
- Pressão de entrada de funcionamento máxima;
- Pressão de exaustão de funcionamento máxima;
- Condutância dos componentes de entrada e escape;
- Especificação da pressão de outros componentes instalados na bomba;
- Monitorização da pressão no caso de a linha de exaustão ficar bloqueada.

Para bombas de aletas rotativas ou de êmbolo com banho de óleo, tenha também em conta o seguinte, a título de exemplo:

- Taxa de fluxo do lastro de gás;
- Taxa de fluxo de purga da caixa de óleo;
- Gases e vapores presos na caixa de óleo;
- Gases e vapores absorvidos para o óleo da caixa de óleo.

A pressão estática máxima define a pressão máxima a que uma ligação de entrada ou saída de uma bomba pode ser exposta quando a bomba não está em funcionamento. A pressão depende do concepção mecânica da bomba.

As bombas de aletas rotativas e de êmbolo com banho de óleo são concebidas para operar com pressões de entrada iguais à pressão atmosférica ou inferiores à mesma e, apesar de a classificação de pressão estática máxima poder ser superior à da pressão atmosférica, a pressão máxima de entrada da bomba durante o funcionamento não deve ultrapassar a pressão atmosférica. Alguns fabricantes limitam a pressão de entrada contínua das suas bombas para pressões inferiores à pressão atmosférica. A pressão máxima de entrada com a bomba em funcionamento é designada como a pressão máxima de funcionamento.

A razão para a limitação da pressão máxima de funcionamento não está necessariamente relacionada com a integridade mecânica da bomba. Normalmente, a pressão máxima é proporcional à classificação de potência da bomba a pressões de entrada elevadas, estando associada ao risco potencial de sobreaquecimento dos componentes mecânicos da bomba ou do motor elétrico.

Por razões semelhantes, recomendamos que mantenha a pressão de saída da sua bomba de vácuo o mais baixa possível (em condições típicas, a 0,15 bar(g) ou menos, $1,15 \times 10^5$ Pa, para funcionamento contínuo). As bombas são concebidas para funcionar com escapes sem restrições e, normalmente, uma pressão de saída de 0,15 bar(g) ($1,15 \times 10^5$ Pa) é suficientemente elevada para enviar os gases de exaustão através do seu sistema de extração e equipamento de tratamento de gases de exaustão.

7.1 Bombas de aletas rotativas e de êmbolo com banho de óleo

As bombas giratórias Edwards com banho de óleo incluem as bombas de aletas rotativas das séries E1M, E2M, ES e RV e as bombas de êmbolo com banho de óleo da gama Stokes Microvac. Normalmente, todas as bombas de vácuo são concebidas para operar com pressões de entrada inferiores à pressão atmosférica e com o escape da bomba libertado livremente para a atmosfera.

As bombas de aletas rotativas e de êmbolo com banho de óleo são compressores de deslocamento positivo e podem gerar pressões de exaustão muito elevadas se a saída estiver bloqueada ou restringida. Em tais situações, as pressões podem exceder a pressão estática segura da caixa de óleo da bomba e, em muitos casos, as pressões estáticas seguras de componentes a jusante no sistema (como lavadores de polipropileno ou juntas de anel-O de vácuo). Por este motivo, a Edwards recomenda vivamente que instale um sensor de pressão de exaustão de elevada integridade na linha de exaustão da bomba.

Para alcançar um nível de diluição seguro, o lastro de gás pode ser aumentado através de uma purga da caixa de óleo (quando disponível) ligada à caixa de óleo existente na bomba. Um aumento no lastro de gás e nas taxas de fluxo de purga da caixa de óleo aumenta a quantidade de óleo transportada para o sistema de escape.

Todas as bombas Edwards com banho de óleo têm volumes consideráveis de caixa de óleo, que podem reter misturas inflamáveis e explosivas de gases. O óleo na caixa de óleo pode absorver ou condensar com eficácia vapor e subprodutos gasosos. Os vapores e gases presos no óleo podem ser pirofóricos ou tóxicos. Por conseguinte, deve recorrer a procedimentos de manuseamento especiais para garantir a segurança durante a manutenção.

7.2 Bombas secas Edwards

A pressão máxima de funcionamento é limitada pelos mesmos factores que afetam as bombas com banho de óleo (ou seja, o risco potencial de sobreaquecimento dos componentes mecânicos da bomba ou do motor elétrico).

As bombas secas Edwards são compressores de deslocamento positivo e podem gerar pressões de exaustão elevadas. Quando as bombas são incorporadas num sistema em que o processo pode resultar em subprodutos sólidos (havendo a possibilidade de bloqueio na linha de exaustão), a Edwards recomenda vivamente que instale um monitor de pressão de exaustão de elevada integridade. Consulte o manual de instruções da bomba para conhecer as pressões de funcionamento para as quais os interruptores devem ser definidos.

As bombas secas Edwards têm capacidade para um lastro de gás de elevada produtividade. Pode-se acrescentar um gás de diluição, como o azoto, ao mecanismo da bomba, para otimizar a supressão de reação. Consulte o manual de instruções da bomba para conhecer as taxas de fluxo de purga de gás.

7.3 Design das condutas

7.3.1 Foles

Os foles são componentes curtos, com paredes finas e convoluções profundas. São utilizados para reduzir a transferência de vibrações de uma bomba para o seu sistema de vácuo.

Instale sempre os foles em linha reta, com ambas as extremidades bem presas. Quando instalados corretamente, os foles podem suportar uma pequena pressão interna positiva (consulte o manual de instruções fornecido com os foles para mais detalhes). Não utilize

foles em escapes de bombas secas; utilize condutas flexíveis entrançadas (ver [Condutas flexíveis](#) na página 30).

Tenha em conta a possibilidade de falha dos foles por fadiga quando utilizados em aplicações de ciclos frequentes.

7.3.2 Condutas flexíveis

As condutas flexíveis têm uma secção de parede mais espessa e convoluções menos profundas do que os foles. As condutas flexíveis proporcionam um método prático para ligação de componentes do sistema de vácuo e ajudam a compensar desalinhamentos ou pequenos movimentos nas condutas de vácuo rígidas. As condutas flexíveis podem ser dispostas com curvas relativamente pronunciadas e mantêm a posição.

As condutas flexíveis destinam-se a instalação em sistemas estáticos. Não são adequadas para flexão repetida que possa provocar falha por fadiga.

Quando utilizar uma conduta flexível, use a extensão mais curta possível e evite curvas desnecessárias. Para aplicações em que podem ocorrer pressões de exaustão elevadas, devem ser utilizadas condutas flexíveis entrançadas.

Condutas flexíveis entrançadas são foles com uma camada protetora exterior entrançada em aço inoxidável. Ao instalar uma conduta flexível entrançada, deve respeitar o raio de curvatura mínimo indicado no manual de instruções fornecido com a conduta flexível entrançada.

7.3.3 Pontos de ancoragem

Tem de fixar as condutas e os componentes das condutas corretamente. Por exemplo, se fixar os foles de forma incorreta, estes não irão reduzir as vibrações geradas pela bomba, o que pode conduzir a fadiga nas condutas.

7.3.4 Vedantes

Quando houver a possibilidade de ocorrência de pressões positivas em qualquer parte do sistema de vácuo (mesmo em condições de falha), deve utilizar tipos de vedantes e materiais apropriados, capazes de suportar as pressões de vácuo e positivas esperadas.

7.4 Proteção física contra sobrepressão

Como previamente abordado, a sobrepressão pode ser causada por uma restrição ou um bloqueio no seu sistema ou num dos respetivos componentes. A sobrepressão pode ocorrer como resultado de fluxo de gás comprimido da bomba ou de fornecimentos externos de gás comprimido (como os destinados a um sistema de diluição). Há dois métodos principais de proteção do sistema contra sobrepressão, nomeadamente a descompressão e o alarme/disjuntor de sobrepressão, que são descritos nos parágrafos seguintes.

7.4.1 Descompressão

Pode utilizar discos de segurança ou válvulas de alívio de pressão para libertar pressão em caso de condição de sobrepressão. A pressão de funcionamento do dispositivo deve ser inferior à classificação de pressão de concepção do sistema. Deve ligar estes dispositivos com condutas adequadas a uma área na qual seja seguro libertar os gases de processo e que não tenha restrições de ventilação. Se resultarem subprodutos sólidos do seu processo, os dispositivos de descompressão devem ser inspeccionados regularmente, para garantir que

não estão bloqueados ou com obstruções. A concepção desses dispositivos de proteção deverá ter em conta o efeito das pulsações de pressão sobre a resistência à fadiga do disco de segurança ou sobre a duração da vida útil da válvula.

7.4.2 Alarme/disjuntor de sobrepresão

Este método de proteção é bastante utilizado pela Edwards. Este tipo de proteção é recomendado para qualquer sistema, mas pode não ser adequado para sistemas que produzem subprodutos sólidos.

7.4.3 Reguladores de pressão

Há dois tipos principais de reguladores de pressão: com ventilação e sem ventilação.

Os reguladores com ventilação libertam gás para a atmosfera ou para uma tubagem de ventilação separada, para manter uma pressão de saída constante em condições de inexistência de fluxo. Normalmente, os reguladores com ventilação são utilizados quando a integridade da conduta é de importância primordial.

Os reguladores sem ventilação apenas podem manter uma pressão de saída constante em condições de existência de fluxo.

Em condições de inexistência de fluxo, a pressão de saída de alguns reguladores pode aumentar para o nível da alimentação de pressão. A taxa de aumento depende das características do regulador e do volume ao qual a respetiva saída está ligada. O aumento pode demorar entre apenas alguns minutos e vários meses.

Os reguladores de pressão não são concebidos para serem válvulas de corte, devendo ser utilizados em combinação com um dispositivo isolador adequado (como uma válvula de solenóide) quando é necessário isolamento do sistema. Como alternativa, deve adotar medidas para libertar pressões excessivas de forma segura.

7.4.4 Corta-chamas

Os corta-chamas não são dispositivos de prevenção contra explosões. São concebidas para evitar a propagação de uma frente de chamas numa tubagem ou conduta (consulte [Utilização de sistemas de proteção de corta-chamas](#) na página 24). Os corta-chamas cobrem uma grande superfície e pequenos espaços de condutância da frente de chamas, extinguindo assim a chama. Habitualmente, a utilização de corta-chamas apenas é adequada em sistemas que sejam utilizados para vapores ou gases limpos.

A energia explosiva das misturas de gás aumenta com a pressão. A maior parte dos corta-chamas é concebida para proteger áreas em que a pressão interna não excede a pressão atmosférica. Deve garantir que a pressão de funcionamento no sistema de extração de escape que se liga ao corta-chamas não excede a pressão máxima de funcionamento. Contudo, no caso de corta-chamas certificados para utilização com bombas de vácuo secas Edwards para produtos químicos, consulte o manual de instruções ATEX para conhecer as pressões máximas permitidas. Também deve considerar a contrapressão máxima permitida da bomba de vácuo.

O funcionamento dos corta-chamas consiste na extração do calor de combustão da frente de chamas, dispondo de uma temperatura de funcionamento máxima segura. Não deve permitir que esta temperatura seja excedida por fitas de aquecimento, isolamento, ou pela temperatura do fluxo de gás que os atravessa.

A capacidade de um corta-chamas deter uma chama depende da velocidade da frente de chamas, que, por sua vez, depende da distância a que se encontra da fonte de ignição.

Quando utilizados com bombas de vácuo secas Edwards para produtos químicos, devem ser ligados muito perto da entrada e do escape. A utilização de tubos curvos ou de peças em T entre a bomba e o corta-chamas é aceitável em algumas bombas sob determinadas condições. Para instruções específicas, consulte a Edwards.

7.5 Sistemas de purga

Podem instalar-se sistemas de purga de gás inerte no equipamento, para remover o gás de processo que se mantenha no sistema após a conclusão de um ciclo de processo.

A utilização correta da purga garante que os produtos corrosivos são removidos, evitando que danifiquem a bomba e, sobretudo, evitando que danifiquem os sistemas de proteção como os corta-chamas. Para além disto, a extração dos gases de processo garante que não acontecem Reações químicas indesejadas e potencialmente perigosas entre os materiais utilizados em diferentes ciclos de processo.

7.6 Resumo – a escolha correta de equipamento

- Escolha o tipo de equipamento adequado para a sua aplicação;
- Instale todos os dispositivos de segurança adequados que são necessários para garantir a segurança em caso de falha;
- Elimine os volumes estagnados;
- Certifique-se de que o sistema está devidamente controlado e regulado;
- Quando apropriado, instale dispositivos de descompressão;
- Quando necessário, utilize corta-chamas;
- Realize testes de fugas nos sistemas e equipamentos antes da utilização.

8. Procedimentos de utilização e formação

A segurança de funcionamento do equipamento é melhorada através de uma formação adequada, instruções claras e concisas e manutenção regular. É importante que todo o pessoal que utiliza equipamento de vácuo disponha da devida formação, qualificação e, quando necessário, supervisão.

Se não tiver a certeza acerca de algum dado de utilização ou segurança que se relacione com o equipamento da Edwards, contacte-nos para obter informações específicas.

9. Resumo

- Faça uma avaliação de perigos para identificar e, quando possível, eliminar ou pelo menos mitigar todos os perigos. Este processo é necessário para a concepção, construção, colocação em funcionamento, operação, manutenção e desativação do sistema de vácuo.
- Tenha em conta todas as Reações químicas possíveis no interior do seu sistema. Mantenha uma tolerância para Reações químicas anormais, incluindo as que podem ocorrer em condições de falha.
- Consulte as folhas de dados de materiais / folhas de dados de segurança de materiais quando avaliar os potenciais perigos associados aos seus materiais de processo, como, por exemplo, a autoignição.
- Utilize técnicas de diluição para minimizar as Reações com oxidantes e materiais inflamáveis.
- Utilize o tipo de lubrificante correto para a sua bomba quando bombeia oxidantes e materiais pirofóricos.
- Não utilize metais pesados no percurso do gás do seu sistema de bombeamento se o seu processo produzir ou utilizar azida de sódio.
- Quando realizar cálculos de segurança, certifique-se de que são tidas em conta todas as pressões seguras de trabalho para todos os componentes do sistema. Certifique-se de que também tem em conta condições anormais ou de falha.
- Certifique-se de que instala os dispositivos de descompressão de tipo correto e que estes têm uma classificação adequada à sua aplicação.
- Certifique-se de que não há possibilidade de acontecerem bloqueios no escape.
- Certifique-se de que os gases de diluição estão devidamente regulados e monitorizados.
- Se bombear materiais perigosos, deve conceber o sistema para falhar para uma condição segura.
- Utilize óleo e lubrificantes de PFPE (perfluoropoliéter) se fizer bombeamento de oxidantes.
- Utilize um gás inerte para diluir gás inflamável e pirofórico até níveis seguros ou garanta que se mantém acima do limite superior de inflamabilidade/explosão, considerando factores de segurança apropriados durante todas as condições do processo, incluindo falhas.
- Não deve permitir que a pressão máxima do sistema exceda a classificação de pressão máxima de qualquer parte individual do sistema.
- Considere a utilização de bombas secas em vez de bombas com banho de óleo nos casos em que haja perigo associado ao óleo no volume deslocado.
- Elimine os volumes estagnados.
- Certifique-se de que o sistema está devidamente controlado e regulado.
- Quando necessário, utilize corta-chamas.
- Realize testes de fugas nos sistemas e equipamentos antes da utilização.

