

**RECOMENDAÇÕES DE  
PROJETO PARA OPERAÇÃO SEGURA  
DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO  
POR AMÔNIA**

**Brasília, 2009**

**Ministério do Meio Ambiente – MMA**

Secretária de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental – SMCQ / MMA

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610)

1ª edição – 2.000 exemplares  
Publicada em setembro/2008

**Ministério do Meio Ambiente**

**Ministro de Estado do Meio Ambiente**

Carlos Minc Baumfeld

**Secretária-Executiva**

Izabella Mônica Vieira Teixeira

**Secretária de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental – SMCQ**

Suzana Kahn Ribeiro

**Departamento de Mudanças Climáticas**

Diretora: Branca Bastos Americano

**Coordenação de Proteção da Camada de Ozônio**

Coordenadora: Magna Ludovice

**Equipe da Coordenação de Proteção da Camada de Ozônio**

Tatiana Zanette

Euler Martins Lage

Frank Amorim

Alex Silva

**Publicação**

Responsável técnico: Leonilton Tomaz Cleto

Revisão técnica: Liamarcia Silva Hora

Produção gráfica: Claudia Focking

Projeto gráfico e diagramação: Link Design

**Coordenação de Proteção da Camada de Ozônio**

Esplanada dos Ministérios Bloco B, 8º andar – Brasília/DF

Cep: 70068-900 | Telefone: (61) 3317-1934 | Fax: (61) 3317-1217

# Sumário

- 1 | Introdução, 5**
- 2 | Códigos e normas aplicáveis, 7**
  - 2.1 Normas brasileiras e internacionais
  - 2.2 “Guidelines & Posters”
  - 2.3 Sites na internet de referência
- 3 | Projeto da sala de máquinas, 11**
  - 3.1 Considerações gerais
  - 3.2 Aspectos relacionados ao local da instalação
  - 3.3 Conteúdo, “layout” e características construtivas da sala de máquinas
  - 3.4 Projeto mecânico
  - 3.5 Projeto elétrico
- 4 | Projeto de ventilação da sala de máquinas, 21**
  - 4.1 Funções do sistema de ventilação
  - 4.2 “Standards” internacionais de referência
  - 4.3 Inflamabilidade
  - 4.4 Cenários de vazamento
  - 4.5 Considerações de projeto
  - 4.6 Exemplo de projeto de ventilação
- 5 | Recomendações de projeto para futuras modificações, 39**
  - 5.1 Planejamento para expansões futuras
  - 5.2 Planejamento para modificações pontuais
- 6 | Evitando falhas de componentes provocadas por pressões anormais, 43**
  - 6.1 Definições
  - 6.2 Líquido enclausurado
  - 6.3 Desaceleração súbita de líquido
  - 6.4 Propulsão do líquido pelo vapor
- 7 | Literatura de referência/bibliografia utilizada, 53**
  - Referências
  - Bibliografia



# 1. Introdução

O objetivo deste Guia de Referência é de apresentar recomendações de projeto para garantir a operação segura de um sistema de refrigeração por Amônia.

Este documento não tem função de norma nem substitui as obrigações necessárias requeridas por autoridades locais, estaduais ou federais quanto aos aspectos de segurança a serem cumpridos para obtenção de licenças de instalação e/ou funcionamento de um sistema de refrigeração por Amônia.

Este documento deve ser utilizado por pessoal qualificado, com conhecimento teórico e prático sobre sistemas de refrigeração por Amônia e experiência adequada para a concepção e projeto dos mesmos.



## 2. Códigos e normas aplicáveis

Atualmente, as boas práticas e cuidados desenvolvidos e utilizados nos sistemas existentes de refrigeração por Amônia no Brasil, baseiam-se na documentação internacional disponível.

A comissão de estudos de refrigeração industrial – CE-55:001.04, do CB-55, da ABNT, está desenvolvendo uma norma brasileira sobre segurança em sistemas de refrigeração, a **NBR 16069**. A norma está baseada no **ANSI/ASHRAE Standard 15-2007** e utiliza as demais normas internacionais, como referência para discussão. A norma já está em fase final de elaboração, com o lançamento para consulta pública previsto ainda para 2009.

A seguir, os principais documentos disponíveis, relacionados à aplicação de Amônia em sistemas de refrigeração:

### 2.1 Normas brasileiras e internacionais

7

#### Normas Brasileiras

- **NR-13 – 2008 – Caldeiras e Vasos de Pressão** – Normas Regulamentadoras da Legislação de Segurança e Saúde no Trabalho – Ministério do Trabalho – Lei nr. 6514 – 22/12/1977;
- **P4.261 – Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos** – CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – 13/08/2003;
- **NBR 13598 – Vasos de Pressão para Refrigeração** – ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – 04/1996.

#### “Standards” Internacionais

- **ANSI/ASHRAE Standard 15-2007 – Safety Code for Mechanical Refrigeration** – American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers;
- **ANSI/IIAR 2-2008 – Equipment, Design & Installation of Ammonia Mechanical Refrigerating Systems** – International Institute of Ammonia Refrigeration;
- **EN 378 Part 1-4 – 2008: Refrigerating systems and heat pumps - Safety and environmental requirements** – European Committee for Standardisation.
  - Part 1: Basic requirements, definitions, classification and selection criteria

- Part 2: Design, construction, testing, marking and documentation
- Part 3: Installation site and personal protection
- Part 4: Operation, maintenance, repair and recovery
- **ISO 5149:1993 – Mechanical Refrigerating Systems used for Cooling and Heating – Safety Requirements** – International Organization for Standardization;
- **ANSI/ASME B31.5 – 2006 – Refrigeration Piping and Heat Transfer Components** – American Society of Mechanical Engineers;
- **ANSI/IIAR Standard 3-2005: Ammonia Refrigeration Valves.**

#### **Código ASME para Dimensionamento de Vasos de Pressão**

- **ASME – Pressure Vessel Code – 2007 – Section VIII – Div. 1 – Rules for Construction of Pressure Vessels** – American Society of Mechanical Engineers;
- **ASME – Pressure Vessel Code – 2007 – Section II – Materials – Part A – Ferrous Material Specifications** – American Society of Mechanical Engineers;
- **ASME – Pressure Vessel Code – 2007 – Section II – Materials – Part C – Specifications for Welding Rods Electrodes and Filler Metals** – American Society of Mechanical Engineers;
- **ASME – Pressure Vessel Code – 2007 – Section II – Materials – Part D – Properties** – American Society of Mechanical Engineers;
- **ASME – Pressure Vessel Code – 2007 – Section V – Nondestructive Examination** – American Society of Mechanical Engineers;
- **ASME – Pressure Vessel Code – 2007 – Section IX – Welding and Brazing Qualifications** – American Society of Mechanical Engineers.

## 2.2 “Guidelines & Posters”

O IIAR – International Institute of Ammonia Refrigeration, possui atualmente os seguintes Boletins/ Guias de Referência relacionados à aplicação de Amônia em sistemas de refrigeração, entre suas publicações:

- **Bulletin R1 – 1983:** A Guide to Good Practices for the Operation of an Ammonia Refrigeration System;
- **Bulletin 107 – 1997:** Guidelines for: Suggested Safety and Operating Procedures when Making Refrigeration Plant Tie-Ins;



- **Bulletin 108 – 1986:** Guidelines for: Water Contamination in Ammonia Refrigeration Systems;
- **Bulletin 109 – 1997:** Guidelines for: IAR Minimum Safety Criteria for a Safe Ammonia Refrigeration System;
- **Bulletin 110 – 1993:** Guidelines for: Start-Up, Inspection and Maintenance of Ammonia Mechanical Refrigerating Systems;
- **Bulletin 111 – 2002:** Guidelines for: Ammonia Machinery Room Ventilation;
- **Bulletin 112 – 1998:** Guidelines for: Ammonia Machinery Room Design;
- **Bulletin 114 – 1991:** Guidelines for: Identification of Ammonia Refrigeration Piping and System Components;
- **Bulletin 116 – 1992:** Guidelines for: Avoiding Component Failure in Industrial Refrigeration Systems Caused by Abnormal Pressure or Shock.

O IAR possui ainda uma série de “Posters”, que podem ser utilizados como referência rápida no ambiente de trabalho, os quais já estão disponíveis em português, conforme a seguir:

- **Equipamento de Proteção para Sistemas de Refrigeração;**
- **Manutenção Preventiva Básica para Sistemas de Refrigeração;**
- **Primeiros Socorros ao Contato com Amônia;**
- **Instruções para Drenagem de Óleo.**

O IOR – Institute of Refrigeration, com sede no Reino Unido, possui os seguintes documentos específicos para refrigeração por Amônia:

- **IOR Guidance Note 10 – 2005: Working with Ammonia;**
- **IOR Ammonia Guidelines – 2005;**
- **Oil Draining from Ammonia Systems;**
- **IOR Ammonia Safety Code – 2002 (Norma em Revisão).**

## 2.3 Sites na Internet de referência

A seguir, uma lista de “sites” de referência onde é possível obter o material listado acima:

- **ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas:** [www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)

- **CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental** – Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo: [www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br).
- **Ministério do Trabalho** – Normas Regulamentadoras da Legislação de Segurança e Saúde no Trabalho – [www.mte.gov.br/legislacao/normas\\_regulamentadoras](http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras)
- **IIAR – International Institute of Ammonia Refrigeration**: [www.iiar.org](http://www.iiar.org)
- **ASHRAE – American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers**: [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)
- **CEN – European Committee for Standardisation**: [www.cenorm.be](http://www.cenorm.be)
- **ISO – International Organization for Standardization**: [www.iso.org](http://www.iso.org)
- **IOR – Institute of Refrigeration**: [www.ior.org.uk](http://www.ior.org.uk)

## 3. Projeto da sala de máquinas

Neste capítulo é apresentado um resumo das práticas industriais geralmente aceitas para a concepção e projeto de uma sala de máquinas para um sistema de refrigeração por Amônia seguro e eficiente e tem como base o **IIAR Bulletin 112 – 1998: Guidelines for Ammonia Machinery Room Design [1]**. Além disso, são apresentadas algumas referências relevantes, normas e “standards” aplicáveis.

As recomendações deste capítulo são aplicáveis, em sua maioria, para uma nova sala de máquinas. No caso de reforma ou expansão de sala de máquinas existente, algumas destas recomendações podem se tornar impraticáveis por várias razões e devem ser feitas apenas com considerações cuidadosas. Alguns detalhes e particularidades sobre modificações em instalações existentes são apresentadas no capítulo 5.0.

### 3.1 Considerações gerais

Os requisitos de projeto e suas considerações aqui apresentadas estão categorizados nas principais disciplinas da engenharia. Os termos “deve(m)” ou “deverá(rão)” são usados para indicar que um item é um requisito em alguma norma, código de projeto ou “standard” de referência. Os termos “pode(m)”, “poderá(ão)”, “poderia(m)” indicam que um item é opativo, mas normalmente recomendado.

### 3.2 Aspectos relacionados ao local da instalação

As considerações a seguir são aplicáveis quando da montagem de instalações de refrigeração totalmente novas e são de caráter orientativo (a não ser que estejam vinculados a normas prediais municipais ou estaduais específicas), e nem sempre são caracterizados como requisitos de normas.

- (a) **Proximidade a Mananciais da Água.** Um estudo da topografia do local da sala de máquinas pode prevenir qualquer possibilidade, em caso de vazamento de Amônia líquida, deste alcançar mananciais de água tais como, córregos, riachos, rios, lagoas ou lagos, conforme legislação aplicável;

- (b) **Proximidade a Comunidades.** Para a escolha da localização da sala de máquinas, deve-se considerar a proximidade da comunidade local na vizinhança ao redor (incluindo conjuntos/zonas habitacionais, hospitais, edifícios administrativos, centros comerciais, avenidas e/ou estradas principais, etc), a sua população, bem como as direções dos ventos predominantes. As considerações a respeito da localização da sala de máquinas devem incluir segurança, ruídos nocivos e os efeitos ao seu redor. No estado de São Paulo, a norma da **CETESB - P4.261 (Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos)** descreve e detalha os requisitos mínimos necessários e as limitações e considerações sobre a construção de instalações contendo substâncias tóxicas (no caso, a Amônia) próximas à uma comunidade. Para outros estados deve-se tomar como referência os requisitos específicos das normas e legislação locais sobre este tópico;
- (c) **Localização da Sala de Máquinas no Restante da Instalação.** A localização da sala de máquinas relativa ao restante da instalação atendida pelo sistema de refrigeração é importante. A seguir, uma lista de preferências da localização da sala de máquinas:
- Nível do solo;
  - Edifício separado do restante da instalação (ou dividindo um edifício apenas com outro sistema da área de utilidades);
  - Parte peninsular de um edifício principal com três paredes e teto expostos ao ar livre, longe de áreas densamente ocupadas;
  - Ao longo do exterior do prédio principal tendo uma ou duas paredes e teto expostos ao ar livre, longe de áreas densamente ocupadas.
- Opções a serem evitadas:
- Área interna ao prédio sem parede externa exposta ao ar livre;
  - Adjacente a áreas (horizontal ou verticalmente) densamente ocupadas, tais como escritórios e áreas de produção;
  - Porão do Prédio;
  - Andares do prédio acima do nível do solo.
- (d) **Acesso para Veículos de Emergência.** Acessos de emergência (i.e., faixas próprias para veículos de combate ao incêndio e ambulâncias) devem estar em acordo com todas as normas locais e estaduais, e se possível, considerações especiais devem ser tomadas para acesso direto à sala de máquinas;

- (e) **Acesso para Veículos Operacionais.** Acessos especiais à sala de máquinas para veículos operacionais (para carga de Amônia e manutenção/ remoção de componentes do sistema) podem ser providos. Neste caso, procedimentos rigorosos para o acesso e manobras nas proximidades deverão ser desenvolvidos, além de instalação de proteções adequadas contra choques nos componentes do sistema de refrigeração. O acesso dos demais veículos (mesmo internos) deve ser proibido.

### 3.3 Conteúdo, layout e características construtivas da sala de máquinas

O conteúdo da sala de máquinas, seu layout e construção devem estar em conformidade com pelo menos uma das seguintes normas e “standards” de referência:

- **NBR 16069 – Segurança em Sistemas Frigoríficos – Seção 8 – Exigências para Instalações;**
- **ANSI/ASHRAE Standard 15-2007 – Safety Code for Mechanical Refrigeration – Section 8 – Installation Restrictions;**
- **ANSI/IIAR 2-2008 – Equipment, Design & Installation of Ammonia Mechanical Refrigerating Systems – Section 13 – Machinery Room Design.**

A seguir, algumas considerações especiais:

- (a) **Conteúdo da Sala de máquinas.** Preferencialmente a sala de máquinas de um sistema de refrigeração por Amônia deve abrigar apenas equipamentos relacionados ao próprio sistema de refrigeração e equipamentos auxiliares, tais como bombas de água gelada (ou de outro fluido secundário) e bombas de água de resfriamento, tanques acumulação de água gelada ou outro fluido secundário. Os equipamentos a seguir não devem estar localizados no interior de uma sala de máquinas de refrigeração por Amônia.
- Caldeiras e outros equipamentos com queima direta com chama aberta, incluindo aquecedores com queima direta e chama aberta, exceto sob as seguintes condições:

- i. O ar de combustão é canalizado do lado de fora da sala de máquinas e selado, de forma a evitar a penetração de Amônia proveniente de vazamento na câmara de combustão, ou
  - ii. Um detector de fluido refrigerante deve ser utilizado para cessar automaticamente a combustão na eventualidade de um vazamento de Amônia;
  - iii. Sala de máquinas onde o fluido refrigerante é somente a Amônia e motores de combustão interna são usados como principais acionadores dos compressores.
- Não deve haver equipamentos, dispositivos de produção de chama ou superfície quente acima de 427°C operando continuamente, instalado na sala de máquinas de forma permanente. Equipamentos com a temperatura de sua superfície que exceda 427°C não devem estar localizados na sala de máquinas sem as devidas precauções especiais. (Por exemplo, algumas instalações de cogeração fazem o uso de normas e suas variações de “materiais e métodos alternativos” a fim de colocar turbinas e caldeiras a vapor na área do sistema de refrigeração);
  - Lubrificantes e outros materiais combustíveis não devem ser armazenados no interior da sala de máquinas.
- (b) **“Layout” da Sala de máquinas.** Deve-se providenciar um espaço suficiente para permitir o acesso aos equipamentos para fins de manutenção. Recomenda-se a liberação do espaço entre os equipamentos para a equipe de operação e manutenção poder executar as suas funções.

Um mínimo de duas (2) saídas deve ser providenciado para a sala de máquinas, e todas as saídas devem estar em acordo com todas as normas e regulamentos locais, estaduais e federais. Portas devem ter a abertura para fora do ambiente (porta de emergência), e devem ser equipadas com barras antipânico, e não devem estar trancadas enquanto a sala de máquinas for ocupada. Portas devem ser do tipo alta vedação, e com dispositivo de fechamento próprio. Uma rota de fuga (não obstruída) deve estar devidamente sinalizada.

- (c) **Característica Estrutural do Prédio.** O sistema estrutural da sala de máquinas deve estar preparado para suportar cargas concentradas da tubulação, vasos de pressão, e equipamentos. Em caso de coletores e vasos de pressão suspensos,

estruturas com engastamento no teto devem estar devidamente dimensionadas para as cargas nominais dos componentes, além das cargas flutuantes na cobertura (ex.: chuva).

- (d) **Janelas de Alívio e Painéis de Explosão.** Em caso de incêndio, janelas de alívio de explosão poderão ser requeridas pela corretora de seguros que faz a cobertura da instalação. O “standard” **ANSI/NFPA 68 [2]**, define uma metodologia para dimensionamento da área de ventilação e sua pressão interna para a prevenção de perdas dos sistemas nas fábricas e indústrias. Pelos cálculos do **ANSI/NFPA 68** obtém-se uma área de ventilação muito conservadora, que pode ser difícil de se aplicar, caso o local onde os equipamentos estão instalados não possuir paredes externas.

Se uma nova sala de máquinas for projetada para se ter uma ventilação contra incêndio e possuir paredes externas adequadas, então, o custo adicional da construção em relação ao projeto sem janelas de alívio de explosão geralmente não será superior, contudo painéis de explosão especiais (tipo “blow-out”) poderão ser necessários. Um sistema de janelas de alívio de explosão tem como finalidade a redução da possibilidade de danos provocados pela deflagração da Amônia (efeito de propagação da zona de combustão com velocidade inferior a velocidade do som na mistura não queimada). Algumas empresas de seguro promovem a adoção de sistema de janelas de alívio de explosão nas instalações para a redução do risco do seguro em sala de máquinas com Amônia. Porém, o risco da deflagração da Amônia geralmente é tratado pelos “standards” internacionais através dos requisitos de ventilação (relacionados ao sistema de ventilação ) ao invés da instalação de janelas de alívio de explosão. Os “standards” de referência detalham os requisitos para um sistema de ventilação de emergência que reduz a probabilidade de acúmulo de Amônia aos níveis que provocariam a sua deflagração.

- (e) **Alvenaria da Sala de Máquinas:** Paredes, pavimentos, e tetos separando o ambiente das máquinas do sistema de refrigeração e outros ambientes ocupados devem ser resistentes ao fogo de pelo menos uma hora, conforme o **ANSI/ASHRAE 15-2007 e a NBR 16069 (item 8.12c)**.
- (f) **Pisos:** O piso da sala de máquinas deve ser antiderrapante e possuir caimento com dreno. Sendo todos os drenos contidos no piso de acordo com normas locais ou estaduais e legislação pertinente à emissão de produtos químicos no ambiente. A

localização dos caimentos e dos drenos deve estar vinculada com a disposição dos equipamentos.

- (g) **Plataformas de Acesso:** Equipamentos suspensos e válvulas manuais com altura superior a 2 m em relação ao piso da sala de máquinas devem possuir plataformas de acesso e/ou escadas.

Para o fechamento das válvulas manuais elevadas, poderá ainda ser considerado o uso de acionamento por correntes acessíveis pelo piso ou de válvulas solenóides controladas manualmente por um interruptor de parada, acessível pelo lado de fora da sala de máquinas.

### 3.4 Projeto mecânico

- (a) **Ventilação:** O ANSI/ASHRAE 15-2007, a NBR 16069 (Seções 8.11 e 8.12) e o ANSI/IIAR 2-2008 (Section 13.2), são as referências mais importantes quanto aos requisitos para a ventilação na sala de máquinas. Considerando que o sistema de ventilação é uma parte importante do projeto mecânico associado à construção da sala de máquinas de uma instalação de Amônia, este assunto será abordado em detalhes no capítulo 4.0.
- (b) **Instalações de Chuveiros e Torneiras de Emergência.** Devido ao risco de exposição dos olhos e da pele à Amônia, devem-se providenciar chuveiros e lava-olhos acessíveis. Pela importância da rápida lavagem dos olhos no eventual espirro ou jorro de Amônia líquida, várias torneiras devem ser instaladas na área da sala de máquinas. É importante considerar a instalação de pelo menos um chuveiro para descontaminação (com jatos por toda a extensão do corpo), quando da utilização de roupas especiais para acesso à nuvem tóxica.
- (c) **Sistema de Proteção Contra Incêndio.** Contratos de seguro, normas prediais e de incêndio tipicamente abordam os requisitos básicos para proteção contra incêndio. De acordo com o EN 378-2007 (Part 3 – Section 5.17.2.3) não é permitido o uso de “sprinklers” (com água) em salas de máquinas para sistemas de refrigeração por Amônia. Recomenda-se o uso de “sprinklers” ao redor da sala de máquinas, para diminuir a propagação de uma nuvem tóxica em caso de vazamento.  
O item 8.12j da NBR 16069 estabelece que em sistemas que utilizam Amônia como fluido frigorífico não se devem utilizar dispositivos de proteção contra



incêndio com chuveiros do tipo “sprinkler” com acionamento automático. Caso requerido, o controle para acionamento destes dispositivos deve ser manual remoto e localizado do lado de fora da sala de máquinas. Não se deve acionar estes dispositivos em caso de vazamento de Amônia líquida na sala de máquinas.

- (d) **Sistemas de Dreno e Esgoto.** Num eventual vazamento de Amônia líquida na sala de máquinas, o líquido pode acabar entrando no sistema de esgoto ou de coleta de resíduos. A alta concentração de Amônia pode causar uma ruptura na estação de tratamento de esgoto ou de resíduo, especialmente em instalações de pequeno porte.
- (e) **Válvulas Críticas do Sistema de Amônia.** Válvulas manuais críticas do sistema, para controle de fluxo de toda a Amônia líquida e de todo gás quente da instalação, devem ser instaladas de forma tal que se possa ter fácil acesso, no nível do piso ou através de plataformas. As mesmas deverão ser bem sinalizadas.

Pode-se utilizar ainda uma válvula solenóide “Master” controlada manualmente através de um interruptor de parada, localizado próximo da porta principal da sala de máquinas. Um desenho esquemático mostrando sua localização deve ser afixado no lado de fora de sala de máquinas.

- (f) **Plaquetas de Identificação e Sinalização.** Recomenda-se que todos vasos de pressão, equipamentos e tubulação sejam identificados e “tagueados”. Os equipamentos, vasos de pressão, válvulas e elementos de controle deverão possuir plaquetas de identificação, conforme requerido por várias normas, códigos e “standards” aplicáveis (**NR-13, ASME Pressure Vessel Code, ANSI/ASHRAE 15-2007**, etc.). No Brasil, a **NBR 13193-1994 [3]** e a **NBR 6493-1994 [4]** oferecem algumas recomendações gerais, porém não há um código específico de cores a serem utilizadas em um sistema de refrigeração por Amônia, considerando os diversos níveis de pressões, temperaturas e estados do fluido (líquido, vapor ou bi-fásico). Como alternativa, recomenda-se adotar um sistema de cores com quadros explicativos sobre a simbologia, a serem instalados no interior da sala de máquinas.

A identificação da tubulação deve incluir além das cores, setas direcionais indicando direção do fluxo, informação sobre o nível de pressão e o estado do fluido (líquido, vapor, bi-fásico). O **IIAR Bulletin 114 – 1991 [5]**, oferece uma

proposta para identificação de tubulação específica para sistemas de refrigeração por Amônia.

Além disso, o **ANSI/ASHRAE15-2007**, a **NBR 16069 (item 11.2.1)** e o **ANSI/IIAR 2-2008 (Section 13.2)** requerem uma placa geral referente ao sistema de refrigeração, a ser instalada em local de fácil visualização e acesso, que deve incluir:

- Nome e endereço do instalador e/ou principais fornecedores.
- Tipo e quantidade do fluido refrigerante do sistema.
- Tipo e quantidade do óleo lubrificante do sistema.
- Pressão de Teste aplicada no teste de estanqueidade no campo.

### 3.5 Projeto elétrico

- (a) **Classificação dos Componentes Elétricos.** Quando a sala de máquinas atende os requisitos de ventilação do **ANSI/ASHRAE 15-2007**, da **NBR 16069 (Seções 8.11 e 8.12)** ou do **ANSI/IIAR 2-2008 (Section 13.2)**, esta não será classificada como área explosiva (conforme a **NBR IEC 60079-10 [6]** ou o **NFPA 70-2002 [7]**).

Caso tal ventilação não for fornecida, todo projeto elétrico deve se adequar aos requisitos das normas **NBR IEC 60079** para área classificada conforme Zona 2, Grupo IIA (ou Classe I, Grupo D, Divisão 2 conforme o **NFPA 70-2002 – “NEC”** americano).

- (b) **Minimização dos Equipamentos Elétricos.** Nenhum equipamento elétrico deve ter o seu painel de alimentação ou de controle instalado na sala de máquinas, a não ser os que estão associados diretamente com o sistema de refrigeração. Recomenda-se ainda que todos os painéis de força dos equipamentos da sala de máquinas sejam instalados em uma sala adjacente isolada (por paredes) da área dos equipamentos.
- (c) **Dispositivos de Parada de Emergência e Desligamento de Emergência.** Os dispositivos parada de emergência são descritos nas normas brasileiras **NBR 5410-2004 [8]** e **NBR 14039-2003 [9]**. O desligamento de emergência da alimentação elétrica deve:
- i. efetuar uma seqüência de desligamento de todo sistema de refrigeração de forma segura e em seguida cortar a alimentação elétrica na sala de máquinas;

- ii. iniciar o funcionamento do sistema de ventilação de emergência, conforme requerido pelo **ANSI/ASHRAE 15-2007, NBR 16069 (Seções 8.11 e 8.12) e ANSI/IIAR 2-2008 (Section 13.2)**.

Todos os controles elétricos remotos de emergência devem estar em completa concordância com a **NR-10 - 2004/2005 [10]**. O interruptor de emergência (ou interruptores) deve estar localizado no exterior da sala de máquinas na sua saída principal, ser do tipo quebra-vidro e estar devidamente identificado.

- (d) **Alimentação e Controle dos Equipamentos de Ventilação.** Todo o equipamento do sistema de ventilação de emergência deve ser alimentado de uma fonte remota a sala de máquinas, de preferência de um circuito de emergência. Considerações específicas devem ser feitas para a classificação elétrica do sistema de ventilação de emergência.
- (e) **Iluminação.** A Iluminação da sala de máquinas deve ser projetada para fornecer um mínimo de 320 lumens/m<sup>2</sup> a uma altura normal de trabalho (0.9 m acima do piso ou plataforma). A iluminação de emergência e a iluminação indicativa da saída devem ser alimentadas por uma fonte externa à sala de máquinas, preferencialmente de um circuito de alimentação de emergência e deve ser a prova de água. Também deve ser fornecida iluminação específica para os equipamentos localizados ao ar livre, fora do ambiente da sala de máquinas (ex. condensadores evaporativos, recipientes de líquido, etc.).



## 4. Projeto de ventilação da sala de máquinas

Não existem requisitos padrões para o projeto do sistema de ventilação de uma sala de máquinas onde a Amônia é utilizada como fluido refrigerante. Este capítulo é baseado no **IIAR Bulletin 111 – 2002: Guidelines for Ammonia Machinery Room Ventilation [11]** e inclui a discussão da função do sistema de ventilação para controle da concentração de Amônia, uma revisão dos requisitos de ventilação para sala de máquinas de sistemas de refrigeração por Amônia apresentados em alguns “standards” internacionais e algumas considerações sobre o projeto de ventilação.

### 4.1 Funções do sistema de ventilação

As principais funções do sistema de ventilação de uma sala de máquinas de um sistema de refrigeração por Amônia são:

- i. Purgar/dispersar vapores de Amônia da sala de máquinas em situações de emergência, para evitar que a concentração atinja o Limite Inferior de Inflamabilidade, minimizando a possibilidade de uma deflagração dentro da sala de máquinas;
- ii. Evitar temperaturas elevadas dentro da sala de máquinas durante a operação normal, devido à geração de calor produzida por vários equipamentos do sistema;
- iii. Fornecer uma renovação de ar adequada aos ocupantes da sala de máquinas;
- iv. Manter a sala de máquinas sob pressão negativa;
- v. Proporcionar uma melhor funcionalidade aos detectores de Amônia (evitando concentrações localizadas).

A função de dispersão dos vapores de Amônia caracteriza um sistema ventilação de emergência enquanto que as demais funções caracterizam um sistema de ventilação normal, contínuo ou não emergencial.

## 4.2 “Standards” internacionais de referência

- **ANSI/ASHRAE Standard 15-2007 – Safety Code for Mechanical Refrigeration** – American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
- **ANSI/IIAR 2-2008 – Equipment, Design & Installation of Ammonia Mechanical Refrigerating Systems** – International Institute of Ammonia Refrigeration.
- **EN 378–2008: Refrigerating systems and heat pumps – Safety and environmental requirements – Part 3: Installation site and personal protection** – European Committee for Standardisation.
- **ISO 5149:1993 – Mechanical Refrigerating Systems used for Cooling and Heating – Safety Requirements** – International Organization for Standardization.

A Tabela 01 apresenta um resumo dos requisitos de vazão de ventilação para cada um dos “standards” de referência:

**Tabela 01** – Requisitos de Ventilação dos principais “standards” Internacionais:

Referência	Ventilação		Ventilação normal	
	Vazão (L/s)	Requisitos Mínimos	Vazão <sup>b</sup>	Requisitos Mínimos
ANSI/ASHRAE 15-2007 <sup>a</sup>	$70 \times G^{0.5}$	N/A <sup>c</sup>	$\Delta T < 10^\circ\text{C}$	2.54 L/s por m <sup>2</sup> ou 9.44 L/s pessoa <sup>d</sup>
ANSI/IIAR 2-2008 <sup>a</sup>	$70 \times G^{0.5}$	12 Trocas/ hora ( $V_{\text{Sl.Maq}}/0.3$ [L/s])	$\Delta T < 10^\circ\text{C}$	0.003 m <sup>3</sup> /s por m <sup>2</sup>
EN 378-2008	$14 \times G^{2/3}$	N/A	Conforme Legislação Local	4 Trocas/ hora ( $V_{\text{Sl.Maq}}/0.9$ [L/s])
ISO 5149-1993	$13.88 \times G^{2/3}$	N/A	Sem distinção <sup>e</sup>	

Onde:

- **G** se refere à massa de fluido refrigerante (em kg) existente no maior sistema, sem importar qual parte do mesmo estiver localizada dentro da sala de máquinas.
- **V<sub>Sl.Maq</sub>** se refere ao volume total (em m<sup>3</sup>) da sala de máquinas.
- **ΔT** se refere ao diferencial de temperatura entre a sala de máquinas e o ar externo, tendo como base todo calor gerado no interior da sala.

- a Caso haja na sala de máquinas um sistema com detectores de Amônia para acionamento automático da ventilação de emergência então, para a condição de operação normal, se aplicam os requisitos de ventilação normal. Caso não haja um acionamento automático, o sistema de ventilação de emergência deve operar continuamente a fim de manter a condição de área não classificada;
- b Vazão de Ar a ser obtida para garantir, no máximo, uma elevação de temperatura no interior da sala de máquinas de 10°C acima da temperatura do ar externo, tendo como base todo calor gerado no interior da sala;
- c N/A – Não se aplica um requisito mínimo de vazão de emergência;
- d Para vazão mínima, é requerida a operação contínua do sistema de ventilação normal apenas quando a sala de máquinas estiver ocupada;
- e Requer uma operação contínua do sistema de ventilação na vazão requerida, mas não há necessidade de exceder 15 Trocas/hora ( $V_{Sl.Maq}/0.24$  [L/s]).

## 4.3 Inflamabilidade

A Amônia é considerada um fluido inflamável, porém em uma faixa muito restrita. Os limites de inflamabilidade da Amônia na pressão atmosférica são 15-16% (Limite Inferior de Inflamabilidade - LII) e 25-28% (Limite Superior de Inflamabilidade - LSI) em volume no ar, com ponto de ignição de 651°C. Esses limites associados ao baixo calor de combustão, reduzem em muito o potencial de inflamabilidade da Amônia. Conforme o **ANSI/ASHRAE 34-2007 [12]** a Amônia é classificada como um fluido do Grupo B2 (alta toxicidade e baixa inflamabilidade).

O potencial de inflamabilidade da mistura Amônia-ar é influenciado por uma série de fatores tais como, pressão, temperatura, turbulência da mistura, potência da fonte de ignição e a presença de vapor de água, óleo ou de outros componentes.

Uma característica importante das misturas inflamáveis é a velocidade da chama, que pode ser classificada como subsônica ou supersônica. A propagação de uma chama em velocidade subsônica resultará em uma deflagração. Uma das características da deflagração é que a sobrepressão gerada pelo evento é relativamente baixa (i.e. a relação entre a pressão final e a pressão inicial é ligeiramente maior que 1.0, diferente da detonação, que pode gerar uma relação de pressão da ordem de 40.0). Apesar da sobrepressão gerada por uma deflagração ser baixa, estas podem causar danos às

estruturas dos prédios e aos equipamentos ao redor (no caso de detonação certamente que os danos são devastadores). Os eventos de deflagração são caracterizados por um nível de energia significativamente baixo quando da ignição da mistura inflamável.

## 4.4 Cenários de vazamento

Em caso de um vazamento descontrolado de Amônia durante uma situação de emergência a concentração de Amônia na sala de máquinas é altamente dinâmica. Esta concentração depende da vazão de vapor de Amônia produzida e da velocidade da sua diluição no ar ambiente. Nas condições de emergência, o objetivo de um sistema de ventilação mecânica é de diluir os vapores de Amônia na sala de máquinas de maneira suficiente para evitar que a concentração em qualquer ponto atinja o LII. Em caso de um cenário de vazamento, os vapores de Amônia podem ser gerados por 3 fontes distintas:

- **Vazamento originário de uma fonte de vapor.** Neste caso, a vazão de produção de vapor é igual à vazão de vazamento de vapor.
- **Vazamento originário do vapor produzido pela evaporação de Amônia líquida que vazou (por derramamento) do sistema.** A Amônia líquida quando em contato com qualquer superfície com temperatura superior à  $-33^{\circ}\text{C}$  (referente à temperatura de evaporação à pressão atmosférica no nível do mar) resultará em evaporação por meio de transferência de calor por condução e convecção combinadas. A convecção de calor do ar da sala de máquinas também contribui para a evaporação da Amônia. Finalmente, há ainda uma parcela devido à transferência de calor por radiação das superfícies mais quentes que contribuirá para a evaporação da Amônia.
- **Vazamento originário do vapor produzido por uma fonte de “Flash gas”.** “Flash gas” será produzido quando um vazamento é originário de uma fonte de Amônia líquida, a uma pressão acima da atmosférica e com temperatura superior a  $-33^{\circ}\text{C}$ .

### 4.4.1 Vazamentos de vapor de Amônia

Qualquer parte do sistema que opera a uma pressão acima da atmosférica está sob risco de vazamento de vapor para o ambiente. Poderá ocorrer a partir dos componentes

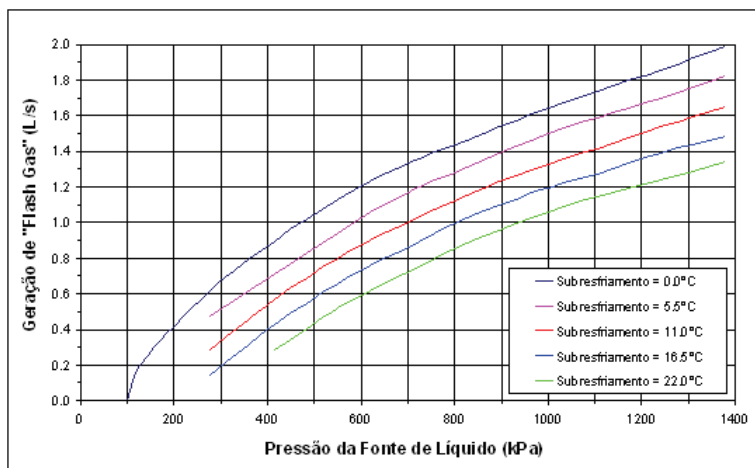


do lado de alta pressão (compressores, tubulação, válvulas, flanges, vasos, etc.) ou dos componentes do lado de baixa pressão operando acima da pressão atmosférica.

#### 4.4.2 Vazamentos de Amônia líquida

Quando vaza Amônia líquida de um sistema, vapor será produzido pela evaporação e/ou pelo efeito do “Flash Gas”. Devido ao calor latente de vaporização da Amônia ser bem alto, a taxa de Amônia vapor a ser produzida (através da transferência de calor gerada por uma fonte de calor) é relativamente pequena (0.81 L/s/kWT do calor transferido para o líquido). Em um cenário de vazamento de líquido a taxa inicial de produção de vapor é alta devido à transferência de calor gerada pelo diferencial de temperatura entre a superfície de contato e a Amônia líquida. Com o passar do tempo a taxa de transferência de calor tende a diminuir, reduzindo a taxa de evaporação. Em contraste com a geração de vapor pela evaporação do líquido, a taxa de vapor produzida pelo “Flash Gas” pode ser substancial quando o vazamento ocorre de uma fonte de líquido a alta pressão.

A taxa de geração de vapor pelo “Flash Gas” depende da pressão e da temperatura do líquido subresfriado da fonte de líquido. A Fig. 01 apresenta algumas curvas de produção de “Flash Gas” para a pressão atmosférica, em caso de vazamento com taxa de 27 kg/h, em função da pressão da fonte do líquido e do subresfriamento do líquido.



**Figura 01** – Geração de Vapor através de Flash Gas para uma Taxa de Vazamento de Amônia de 27 kg/h (0.0075 kg/s).

## 4.5 Considerações de projeto

O sistema de ventilação pode ser separado em 2 categorias, conforme mostra a Tabela 2:

**Tabela 02** – Categorias do Sistema de Ventilação na Sala de Máquinas

Categoria do Sistema de Ventilação	Modo de Operação	Função
Emergência	Acionamento Automático	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dispersar vapores de Amônia da sala de máquinas em caso de vazamento.</li><li>• Atender os requisitos para Não Classificação de Área quanto à explosividade, quando houver detector.</li></ul>
	Contínuo	<ul style="list-style-type: none"><li>• Atender os requisitos para Não Classificação de Área quanto à explosividade, quando <b>NÃO</b> houver detector.</li></ul>
Normal	Acionamento Automático	<ul style="list-style-type: none"><li>• Evitar temperaturas elevadas dentro da sala de máquinas.</li><li>• Renovação de ar para os ocupantes da sala de máquinas.</li></ul>
	Contínuo	<ul style="list-style-type: none"><li>• Manter a sala de máquinas sob pressão negativa.</li><li>• Melhor eficácia dos detectores de Amônia</li></ul>

### 4.5.1 Sistema de ventilação de emergência

O LII para a mistura Amônia/Ar é aproximadamente 16% em volume (160000 ppm). O “standard” **NFPA 30 [13]** define como “ventilação adequada” aquela que é requerida para manter concentrações abaixo de 25% do LII, ou seja, 4% (ou 40000 ppm) em volume de Amônia anidra. O objetivo final de projeto e operação do sistema de ventilação de emergência é de dispersar os vapores de Amônia na sala de máquinas de maneira a manter os níveis de concentração de Amônia no ar abaixo de 4% em volume, em caso de vazamento.

Além do cálculo com base na carga de Amônia do maior sistema da sala de máquinas, o **ANSI/IIAR 2-2008** utiliza ainda como verificação o cálculo baseado no número de trocas por hora do ar da sala (12 trocas por hora – ver Tabela 01) e utiliza o maior valor.

O IIR Bulletin 111 – 2002 [11], recomenda ainda que a vazão mínima de ar seja de pelo menos 50.8 L/s por m<sup>2</sup> de área da sala de máquinas, com um mínimo de 9439 L/s.

A Tabela 01 (do item 4.2) apresenta as equações de vazão mínima de ar requerida para o sistema de ventilação de emergência dos “standards” internacionais de referência. Como mencionado, os requisitos de vazão mínima diferem um pouco entre os “standards”. A Figura 02 indica a diferença entre as equações.

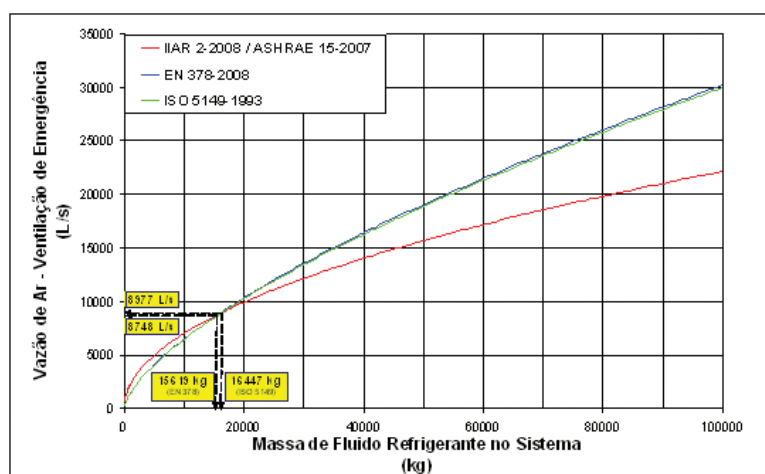


Figura 02 – Comparação de Vazão de Ar Mínima para o Sistema de Ventilação de Emergência entre os “standards” Internacionais de referência.

## 4.5.2 Sistema de ventilação normal

### 4.5.2.1 Temperatura da sala de máquinas

O ANSI/ASHRAE 15-2007 a NBR 16069 (Item 8.11.5) e ANSI/IIR 2-2008 (Item 13.2.3.4) estabelecem que em condições normais de operação (quando não houver emergência) uma parte do sistema de ventilação deve ser acionada de modo a manter uma vazão de ar para garantir que a temperatura no interior da sala de máquinas não exceda o limite de 10°C acima da temperatura do ar externo ou a máxima temperatura interna de 50°C, tendo como base todo calor gerado no interior da sala de máquinas. O

**ANSI/ASHRAE 15-2007** e a **NBR 16069** estabelecem ainda que o sistema de ventilação normal será operado **quando a sala estiver ocupada**.

Neste caso, o cálculo para a vazão requerida é baseado na carga térmica interna gerada na sala por todas as fontes de calor presentes, incluindo:

- Motores elétricos (especialmente o calor produzido pela ineficiência do motor);
- Outros motores de acionamento (motores a gás, diesel, etc.) (perda de calor do sistema de resfriamento);
- Ganhos de calor por transmissão (ex. ganhos de calor pela envoltória do prédio).

Após o cálculo da estimativa de carga térmica da sala de máquinas, a vazão de ar requerida para o sistema de ventilação normal pode ser determinado pela seguinte equação:

$$\text{Vazão de Ar} = \frac{Q_{\text{total}}}{C_{p_{\text{ar}}} \times \rho_{\text{ar}} (T_{\text{sala}} - T_{\text{ar.ext}})} \sim \frac{Q_{\text{total}}}{1.21 (T_{\text{sala}} - T_{\text{ar.ext}})} \quad [\text{L/s}]$$

Onde:

$Q_{\text{Total}}$  é a carga térmica estimada gerada na sala de máquinas ( $W_T$ );

$T_{\text{sala}}$  é a temperatura no interior da sala de máquinas a ser mantida ( $^{\circ}\text{C}$ );

$T_{\text{ar.ext}}$  é a temperatura de bulbo seco do ar externo ( $^{\circ}\text{C}$ );

$C_{p_{\text{ar}}}$  é o calor específico do ar na temperatura média entre  $T_{\text{sala}}$  e  $T_{\text{ar.ext}}$  ( $\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$ );

$\rho_{\text{ar}}$  é a densidade do ar na temperatura média entre  $T_{\text{sala}}$  e  $T_{\text{ar.ext}}$  ( $\text{kg/m}^3$ ).

Para estes “standards”, o máximo diferencial ( $T_{\text{sala}} - T_{\text{ar.ext}}$ ) é de  $10^{\circ}\text{C}$ .

Em casos onde o sistema de ventilação de emergência requer vazão superior ao do sistema de ventilação normal, o sistema de ventilação de emergência poderá ser acionado para atender a função de evitar temperaturas elevadas no interior da sala de máquinas.

A forma mais conveniente de controle de acionamento do sistema de ventilação normal para evitar a temperatura elevada na sala de máquinas é através da utilização de um termostato que aciona os ventiladores de maneira intermitente (liga/desliga). Como alternativa, pode ser ainda utilizado um conjunto de sensores de temperatura (da sala e do ar externo) para controle contínuo da vazão dos ventiladores, variável através do uso de inversores de frequência nos motores. Como última opção, caso não haja controle algum da temperatura da sala, este sistema deverá operar continuamente.

### 4.5.2.2 Demais funções da ventilação

Outro requisito para condições normais de operação (quando não houver emergência), é a renovação de ar quando a área estiver ocupada. O **ANSI/ASHRAE Standard 15-2007** e a **NBR 16069 (Item 8.11.5)** estabelecem 2 condições a serem verificadas:

- 2.54 L/s por m<sup>2</sup> de área da sala de máquinas;
- 9.44 L/s por pessoa.

Neste caso, o acionamento automático poderá ser realizado através de sensores de presença na sala de máquinas.

O **IIAR Bulletin 111 – 2002 [11]**, recomenda ainda uma vazão mínima de ar para operação contínua do sistema de ventilação, de 5 – 10 L/s por m<sup>2</sup>, para manter a pressão negativa na sala de máquinas e prover uma melhor eficácia dos detectores de Amônia.

Em regiões mais frias, durante o inverno, se a temperatura da sala ficar muito baixa com a operação do sistema de ventilação, pode-se acionar o sistema de maneira intermitente, tendo como parâmetro de controle para acionamento, a concentração de Amônia na faixa de 20-50 ppm no detector da sala de máquinas.

## 4.5.3 Dimensionamento dos ventiladores e “layout”

### 4.5.3.1 Tipo do ventilador

Recomenda-se especificar exaustores do tipo “upblast” (exaustores de telhado, com fluxo de ar ascendente), com alta velocidade de descarga. Este tipo de ventilador é o mais eficaz na ação de dispersão dos vapores de Amônia para a atmosfera. Os motores deverão ser anti-centelhantes, tipo totalmente fechado e preferencialmente deverão estar fora do fluxo de ar.

Para a ventilação normal, com vazão reduzida, pode-se utilizar as seguintes opções:

- Operação parcial em um sistema de múltiplos ventiladores;
- Ventiladores com 2 ou 3 velocidades;
- Ventiladores com inversores de frequência;
- Sistema independente.

A alimentação elétrica do sistema de ventilação da sala de máquinas deverá ser feita através de um sistema independente da alimentação elétrica da sala de máquinas, de modo a garantir o funcionamento do sistema de ventilação em caso de desligamento por emergência do sistema de refrigeração.

Caso houver um sistema de geradores para uma rede de alimentação elétrica de emergência na instalação (ex. iluminação de emergência), recomenda-se que o sistema de ventilação seja incluído nesta rede de emergência.

#### 4.5.3.2 Tomadas de ar

Não se deve utilizar venezianas para tomadas de ar com “dampers” manuais. Os “dampers” deverão ser do tipo “abre em falha”. Para o dimensionamento das venezianas de tomadas de ar, deve-se selecioná-las com área suficiente para minimizar a perda de carga através do “damper”. Caso sejam utilizados filtros, os mesmos deverão ser de baixa perda de carga. Uma vez dimensionados os filtros, os limites de perda de carga deverão ser informados para se manter um programa adequado de manutenção dos filtros.

O ventilador deverá ser selecionado para a vazão de ar requerida e para a perda de carga de toda rede exaustão de ar, incluindo filtros (sujos), tomadas de ar, “dampers”, etc.

#### 4.5.3.3 Localização das tomadas de ar e das descargas da exaustão

- A seguir, algumas recomendações relacionadas à localização das tomadas de ar e das descargas de exaustão:
- É essencial prover aberturas adequadas para garantir a reposição do ar de exaustão da sala;
- Aberturas para a reposição/renovação de ar deverão ser posicionadas de modo a evitar o “curto-circuito” do ar de descarga da exaustão (reentrada na sala do ar da descarga). Curto-circuito pode ocorrer também quando a exaustão estiver localizada próximo de grandes portas/aberturas;
- Caso houver dutos de alimentação e/ou de exaustão, estes não deverão atender nenhuma outra área do edifício;
- A reposição/ renovação de ar deverá ser feita utilizando-se apenas ar externo;

- A descarga de ar da sala de máquinas deverá ser direcionada para cima, no topo do edifício, para facilitar a dispersão na atmosfera. Deverão ser considerados os aspectos da circulação natural do ar externo ao redor do prédio, a direção predominante dos ventos e a influência das estruturas e prédios adjacentes;
- Para garantir uma boa renovação de ar na sala, recomenda-se distribuir as tomadas de ar através das paredes laterais (com entrada por baixo), associadas com ventiladores de exaustão montados no teto com uma boa distância das paredes (distribuídos na área mais central da sala de máquinas).

#### 4.5.4 Detectores de Amônia

Recomenda-se o uso de detectores de Amônia dentro da sala de máquinas com o objetivo de proteger o pessoal e também o patrimônio. Através do monitoramento contínuo da concentração de Amônia na sala de máquinas, quando atingidos determinados níveis, poderão ser acionados alarmes e ações de controle de proteção. O selecionamento adequado, a localização e a operação/ manutenção correta dos detectores de Amônia é essencial para a segurança da sala de máquinas.

##### 4.5.4.1 Selecionamento dos detectores

Para uma operação eficaz do sistema de ventilação, normalmente é necessário a instalação de detectores de Amônia para pelo menos 2 níveis distintos de alarme: um para acionamento do sistema de ventilação de emergência, com uma faixa de operação mais restrita (ex. 0 – 400 ppm ou 0 – 1000 ppm); e outro para desligamento total da alimentação elétrica da sala de máquinas, com uma faixa de operação mais ampla (ex. 0 – 40000 ppm).

Deve-se observar que os “standards” de referência estabelecem requisitos para todos os fluidos refrigerantes (exceto água e Amônia), quanto ao uso de detectores com níveis de alarme baseados na sua toxicidade (por exemplo, no índice TLV-TWA – Threshold Limit Value - Time Weighted Average, da ACGIH - American Conference of Governmental Industry Hygienists).

Para Amônia, em razão do seu forte odor, não é requerido pelos “standards” de referência o uso de detectores com níveis de alarme em tal concentração. Além disso, devido a algumas atividades comuns na sala de máquinas, que permitem um pequeno

vazamento de Amônia (ex. drenagem de óleo), o uso de detectores de Amônia com alarme em baixas concentrações pode não ser prático.

Em outras áreas da instalação por onde passa o circuito de refrigeração, principalmente nas áreas de produção (ex. câmaras de estocagem, salas de preparo, áreas de processo e fabricação), poderá haver pessoal que, para reagir mesmo a um pequeno vazamento de Amônia, possua apenas treinamento para abandono de área. Neste caso, quando forem instalados detectores de Amônia com alarme para abandono de área, recomenda-se que o alarme seja ajustado para uma concentração do nível do TLV-TWA de 25 ppm [12], ou no Brasil, no nível da LT (Limite de Tolerância, da **NR-15 [14]** – estabelecido em 20 ppm). Os detectores também deverão ser selecionados para uma faixa de operação mais restrita (ex.: 0 – 100 ppm).

#### 4.5.4.2 Localização dos detectores

Apesar da Amônia vapor ser mais leve que o ar, em casos de formação de nuvem, com gotículas de líquido, esta tende a ser mais pesada até sua vaporização completa. Por esta razão, a concentração de Amônia deveria ser monitorada em 2 ou mais pontos no interior da sala de máquinas.

Como configuração mínima, pelo menos 1 detector deveria ser instalado próximo ao piso da sala de máquinas, que neste caso poderia ser com uma faixa de operação restrita (ex. 0 – 1000 ppm), para acionar o sistema de ventilação de emergência e alarmes de abandono de área. Ainda na configuração mínima, um outro detector deveria ser instalado mais ao alto da sala de máquinas, em local onde se possa garantir uma circulação de ar contínua através do sensor do detector (ex. próximo ao ventilador de exaustão), com uma faixa de operação mais ampla (0 – 40000 ppm, com ajuste em 30000 ppm) para acionar o desligamento total da alimentação elétrica da sala de máquinas (conforme recomendação da **EN 378–2008 Part 3, Section 8.7**).

Deve-se enfatizar a importância da acessibilidade para manutenção e que os mesmos requerem recalibrações periódicas. Detectores adicionais poderão ser instalados como redundância.



## 4.5.5 Controles

### 4.5.5.1 Ventilação da sala de máquinas

Controles são requeridos para o acionamento do sistema de ventilação de emergência e também do sistema e ventilação normal quando estes não operam continuamente. Além do controle manual, o acionamento do sistema de ventilação de emergência através de detectores é requerido conforme os requisitos do **ANSI/ASHRAE 15-2007** e da **NBR 16069 (Item 8.12h)**. Além disso, como já mencionado, outros elementos de controle (sensores de temperatura e sensores de presença, bem como detectores com diferentes níveis de ajustes) poderão ser utilizados para o acionamento automático do sistema de ventilação normal.

Um painel de controle com acionamento manual/ automático do sistema de ventilação de emergência deverá ser instalado bem próximo de cada porta de saída da sala de máquinas. O desligamento do sistema de ventilação de emergência deverá ser realizado apenas manualmente (pelo operador) e em outro painel, localizado no interior da sala de máquinas.

### 4.5.5.2 Desligamento de emergência

O sistema de refrigeração deverá possuir um botão de parada de emergência, conforme a **ABNT 5410-2004 [8]** e permitir um desligamento de emergência da alimentação elétrica para a sala de máquinas. O desligamento de emergência deverá cortar a alimentação elétrica de toda a sala de máquinas, exceto do sistema de ventilação de emergência, caso esta não seja classificada conforme IEC Zona 2, Grupo IIA (ou Classe I, Grupo D, Divisão 2 conforme o NEC americano).

Dentre os “standards” de referência, apenas o **EN 378-2008 (Part 3 – item 8.7)** requer um alarme para o desligamento de emergência da sala de máquinas, e estabelece uma concentração máxima de 30000 ppm para acionamento do alarme.

O **IIAR Bulletin 111 – 2002 [11]** recomenda uma concentração de 15000 ppm para acionamento do alarme. A concentração máxima para o desligamento de emergência não deve exceder 25% do LII (ou seja, 40000 ppm).

No lado externo de cada porta de saída da sala de máquinas deverá haver um painel com um botão de emergência, do tipo quebra-vidro, devidamente identificado, para acionamento manual do desligamento de emergência da sala de máquinas.

Caso o botão de emergência seja acionado, além de promover o desligamento de todos os equipamentos e cortar toda alimentação elétrica da sala de máquinas, deverá ser acionado automaticamente o sistema de ventilação de emergência, independente da concentração de Amônia verificada nos detectores. O rearme da alimentação elétrica deverá ser manual.

#### 4.5.5.3 Alarmes

Detectores de Amônia são necessários para as funções de alarme e controle. Quando atingido os níveis de alarme, sinais visuais e sonoros deverão ser acionados tanto no interior da sala de máquinas quanto na sua parte externa, junto às portas de acesso. Sinalizações diferentes deverão ser utilizadas para se distinguir o acionamento da ventilação de emergência do desligamento de emergência da alimentação elétrica da sala de máquinas. Qualquer rearme deverá ser manual (ex. através de um botão) e deverá estar localizado dentro da sala de máquinas.

Além desses, um outro alarme deverá ser acionado quando o sistema de ventilação normal entra em falha, para que as devidas providências corretivas sejam tomadas. Neste caso, deverá também ser acionado o sistema de ventilação de emergência. Outros elementos poderão ser utilizados para indicar falha do sistema de ventilação normal intermitente como por exemplo, altas temperaturas na sala de máquinas.

#### 4.5.5.4 “Standards” de referência

A Tabela 03 apresenta um resumo dos requisitos para valores de ajuste de detectores de Amônia para acionamento do sistema de ventilação de emergência e do desligamento de emergência da sala de máquinas, em cada um dos “standards” de referência:

**Tabela 03** – Requisitos de Ajuste dos Detectores de Alarme para os principais “standards” Internacionais:

Referência	Concentração Máxima de Amônia (ppm)	
	Desligamento de Emergência	Ventilação de Emergência
ANSI/ASHRAE 15-2007	---	1000 <sup>a</sup>
ANSI/IIAR 2-2008	---	400/1000 (max) <sup>b</sup>
EN 378-2008	30000 <sup>c</sup>	500 <sup>c</sup>
ISO 5149-1993	40000 <sup>d</sup>	40000 <sup>d</sup>

Obs:

- a O **ANSI-ASHRAE 15-2007** estabelece que não é exigida a classificação de área da sala de máquinas (conforme NEC Classe I, Divisão 2) se a sala de máquinas possuir um sistema de ventilação de emergência e um detector de Amônia que aciona a ventilação e um alarme com a concentração de 1000 ppm.
- b O **ANSI/IIAR 2-2008** não estabelece de maneira clara qual o valor para acionamento do sistema de ventilação de emergência. No item 13.2.3.1.1 é recomendado como valor máximo típico um ajuste de 400 ppm. No item 13.2.3.1.2 é mencionado que quando houver um ou mais níveis de alarme o nível de atuação do sistema de ventilação não deverá exceder 1000 ppm.
- c O **EN 378-2008 Part 3** estabelece como proteção para evitar o risco de incêndio, para sistemas com mais de 50 kg de Amônia, o uso detectores de Amônia com função de pré-alarme na sala de máquinas, na concentração de 500 ppm, para acionamento do sistema de ventilação de emergência e função de alarme principal para desligamento de emergência da alimentação elétrica.
- d O **ISO 5149:1993** requer o desligamento de emergência da alimentação elétrica e acionamento do sistema de ventilação de emergência para uma concentração máxima de 25% do LII.

## 4.6 Exemplo de projeto de ventilação

Para ilustrar a aplicação destas diretrizes, um típico exemplo de projeto de sala de máquinas será apresentado a fim de se comparar os diversos requisitos mínimos dos “standards” de referência.

### 4.6.1 Especificação da sala de máquinas

Assume que uma nova sala de máquinas de refrigeração com a Amônia como fluido refrigerante será construída. As especificações técnicas são as que seguem:

- A sala de máquinas possui uma área de 25 m x 10 m e pé direito de 7 m.
- A sala de máquinas foi projetada para comportar 4 compressores com motores de 220 kW, com rendimento de 91%.
- Os demais motores da sala de máquinas totalizam 110 kW, com rendimento médio de 87%.
- Os demais ganhos de calor na sala totalizam 10.0 kWT.
- Carga de Amônia no sistema é de 30000 kg.
- Temperatura de projeto de verão do ar externo é de 35oC (Bulbo Seco).
- Temperatura de projeto de inverno do ar externo é de 10oC (Bulbo Seco).

### 4.6.2 Procedimento para elaboração do projeto

O projeto do sistema de ventilação é elaborado seguindo o esquema de projeto recomendado na Tabela 01 (seção 4.2) e na seção 4.5, conforme apresentado na Tabela 04 a seguir:

#### 4.6.2.1 Vazão de ar requerida

São estabelecidos os requisitos de ventilação de emergência e de ventilação normal para a sala de máquinas:

**Tabela 04** – Resultados das Vazões de Ar Mínima dos “Standards” de Referência:

Referência	Ventilação de Emergência		Ventilação Normal	
	Vazão	Requisitos Mínimos	Vazão	Requisitos Mínimos
ANSI/ASHRAE 15-2007	$70 \times G^{0.5} = 12125 \text{ L/s}$	N/A	$p/\Delta T < 10^\circ\text{C}^*$ $V = 9261 \text{ L/s}$	635 L/s
ANSI/IIAR 2-2008	$70 \times G^{0.5} = 12125 \text{ L/s}$	$V_{\text{Sl.Maq}}/0.3 = 5834 \text{ L/s}$	$p/\Delta T < 10^\circ\text{C}^*$ $V = 9261 \text{ L/s}$	635 L/s
EN 378-2008	$14 \times G^{2/3} = 13517 \text{ L/s}$	N/A	Conforme Legislação Local	$V_{\text{Sl.Maq}}/0.9 = 1945 \text{ L/s}$
ISO 5149-1993	$13.88 \times G^{2/3} = 13401 \text{ L/s}$	N/A	$13.88 \times G^{2/3} = 13401 \text{ L/s}$	
IIAR Bulletin 111-2002	50.8 L/s/ por $\text{m}^2 = 12700 \text{ L/s}$	9439.0 L/s	N/A	10 L/s/ por $\text{m}^2 = 2500 \text{ L/s}$

Obs.:

No cálculo da carga térmica de aquecimento da sala de máquinas para determinação da vazão de ar do sistema de ventilação normal, deve ser considerado que apenas uma parte da potência do motor (relacionada ao rendimento do motor) é transferida para o ar ambiente (o restante é transferido para o fluido refrigerante no compressor). Para esta condição, o **ASHRAE Fundamentals Handbook [15]** propõe a seguinte equação de cálculo da carga térmica relacionada ao calor de dissipação de motores elétricos:

$$Q_{\text{Motores}} = \frac{P_m \times (1 - \eta_m)}{\eta_m}$$

Onde:

$Q_{\text{Motores}}$  é a carga térmica devido à dissipação de calor do motor elétrico (WT)

$P_m$  é a potência nominal do motor elétrico (W)

$\eta_m$  é o rendimento do motor elétrico a 100% de carga (em fração decimal)

Ex.: Para os motores dos compressores (4x 220 kW), com rendimento de 0.91, a carga térmica total devido à dissipação é de 87033 W<sub>r</sub>. Para o exemplo em questão, a carga térmica total estimada foi de 112048 W<sub>r</sub> incluindo motores e demais cargas.

#### 4.6.2.2 Selecionamento dos ventiladores e tomadas de ar

Conforme os requisitos do **EN 378-2008** é necessário uma vazão mínima de 13401 L/s para o sistema de ventilação de emergência. Para o sistema de ventilação normal em funcionamento contínuo, a vazão mínima necessária é de 1945 L/s (com requisito adicional de vazão mínima, conforme legislação específica dos vários países da UE).

Conforme os requisitos do **ANSI/ASHRAE 15-2007** e do **ANSI/IIAR 2-2008** será necessário uma vazão mínima de 12125 L/s para o sistema de ventilação de emergência. Para o sistema de ventilação normal, a vazão mínima é de 9261 L/s.

Para atender os requisitos do **ANSI/ASHRAE 15-2007**, serão selecionados 3 ventiladores de exaustão, cada um com capacidade de 4800 L/s a uma pressão estática de 65 Pa. Para o sistema de ventilação de emergência os 3 ventiladores entrarão em funcionamento e para o sistema de ventilação normal, apenas 2 são necessários.

Para uma velocidade do ar de 3 m/s nas tomadas de ar, são selecionadas quatro venezianas de tomada de ar externo, com 1.2 m<sup>2</sup> de área livre. São equipados com “dampers” motorizados que se abrem em caso de falhas com intertravamento aos ventiladores de exaustão.

# 5. Recomendações de projeto para futuras modificações

Modificações em sistemas existentes de refrigeração por Amônia requerem um planejamento específico desde o projeto, de forma a permitir que na ocasião da modificação sejam aplicados os procedimentos apropriados e seguros. A seguir algumas recomendações, tendo como base o **IIAR Bulletin 107 – 1997: Guidelines for Suggested Safety and Operating Procedures when Making Refrigeration Plant Tie-Ins [16]**.

## 5.1 Planejamento para expansões futuras

A seguir, uma série de recomendações de planejamento de projeto para expansões futuras:

- Determinar a localização e o diâmetro nominal de válvulas extras que poderão facilitar expansões futuras. Considere quais partes do sistema ou equipamentos deverão ser isolados (do restante do sistema) ou desligados em uma possível modificação, caso não haja uma válvula extra desde o projeto inicial.
- Determinar a localização de conexões para purga e recolhimento de Amônia. Para as partes do sistema ou equipamentos que terão válvulas primárias de isolamento, deverão ser instaladas válvulas de purga, para auxiliar no recolhimento de Amônia daquele trecho de tubulação ou equipamento.
- Dimensionar as válvulas de final de linha dos coletores e tubulação principal onde deverão ser feitas as futuras conexões. O diâmetro nominal da válvula deverá ser o suficiente para comportar a capacidade futura esperada com perda de carga aceitável. Deve-se considerar a direção do escoamento e a orientação das válvulas para a correta instalação. Se possível, o lado pressurizado ou do sentido do escoamento deverá atuar sob o assento da válvula. Válvulas de final de linha da tubulação principal deverão estar plugadas, flangeadas com flange cego ou possuir uma curta tubulação tamponada com um “caps”, sempre com uma válvula de purga.
- Para válvulas de espera de final de linha, se um trecho final com caps é conectado à válvula, deverá ser de pelo menos 300 mm. Isto irá evitar possíveis danos ao

assento da válvula quando a futura ampliação for feita na conexão após o trecho final.

- Deverá ser analisado, em cada trecho de expansão, quais os possíveis aumentos de capacidade de refrigeração que poderão ocorrer futuramente na instalação. Para tais casos, deverão ser considerados o fornecimento de válvulas de espera (“tie-ins”) nos seguintes locais:
  - a. No final de linhas principais.
  - b. Conexões nos coletores principais de sucção e descarga para futura instalação de compressores, entrada e saída de condensadores, vasos de pressão e outros equipamentos.
  - c. Futuros equipamentos de processo.
  - d. Futuras bombas de refrigerante ou unidades de transferência de líquido.
- A instalação de outras válvulas adicionais poderão reduzir a possibilidade de um período extenso de parada (com desligamento do sistema) ou uma parada de difícil execução.
- As válvulas de espera deverão ser instaladas em pontos adequados de modo a evitar o enclausuramento de líquido durante as expansões futuras.
- Durante a montagem é essencial que todas as válvulas sejam “tagueadas” e as linhas de refrigerante devidamente identificadas.
- A localização dos pontos de espera (“tie-ins”) deverá sempre que possível permitir que o fluxo de refrigerante seja feito por gravidade após a expansão. Como alternativa, pode-se elaborar o projeto considerando a perda de carga extra devida aos locais onde as linhas de retorno estão enclausuradas.

## 5.2 Planejamento para modificações pontuais

Para modificações pontuais em sistemas existentes, recomenda-se as seguintes verificações de projeto e instalação:

- Deve-se verificar os diâmetros nominais das linhas da Amônia e respectivas válvulas quanto à adequação à capacidade adicional planejada. Determinar se a perda de carga nas linhas após a ampliação estará de acordo com padrões e práticas aceitáveis.



- Determinar o local da modificação e o diâmetro nominal das válvulas de isolamento (“tie-ins”) a serem utilizadas. Para conexão em um sistema existente, deve-se considerar a possibilidade de instalar uma válvula de espera (“tie-in”) de bloqueio manual no ponto da modificação. Em primeiro lugar, as válvulas de espera (“tie-ins”) deverão ser instaladas para que as modificações planejadas possam ser feitas sem a interrupção da operação do sistema.
- As modificações deverão ser coordenadas em conjunto com a equipe de operação da planta. Deve-se considerar o tempo de desligamento necessário para efetuar a instalação da válvula de espera (“tie-in”) e o efeito na área de produção da unidade ou impactos nas temperaturas de armazenamento.
- Desenvolver procedimentos por escrito para o teste das tubulações e dos equipamentos recém instalados.
- Desenvolver manuais de procedimentos de operação para o sistema a ser adicionado. Adicionar as revisões necessárias ao Programa de Gerenciamento de Risco e ao Plano de Ação de Emergência. Incorporar ao programa de treinamento da unidade, a operação e a manutenção dos novos equipamentos e sistemas adicionais. Realizar as revisões nos fluxogramas de engenharia e de processo, e demais desenhos do sistema, para manter atualizada a documentação de projeto.
- Caso haja alteração em algum vaso de pressão existente, todos os desenhos de alteração, procedimentos e testes pertinentes deverão ser incluídos no “Prontuário do Vaso de Pressão”, de acordo com os requisitos da **NR-13 - 2008**.
- Após realizadas as modificações elaborar a revisão dos desenhos e fluxograma na condição “as-built” (como construído após a modificação).
- Para todas as modificações do sistema, seguir os procedimentos do Programa de Gerenciamento de Riscos da unidade previamente aprovado pela agência estadual de proteção ao meio ambiente. Assegure que todos os projetos sejam revistos e aprovados pela autoridade da jurisdição.



## 6. Evitando falhas de componentes provocadas por pressões anormais

Os projetos dos componentes dos sistemas de refrigeração atuais incorporam fatores de segurança consideráveis sobre as pressões máxima de trabalho do sistema. Contudo, todos os sistemas estão sujeitos a condições criadas por projeto, operação ou manutenção que podem resultar em uma pressão excessiva no interior dos componentes de um sistema contendo fluido refrigerante ou fluido secundário. Estas pressões liberam energia estática e cinética podendo danificar evaporadores, válvulas, vasos de pressão ou a tubulação, provocando vazamento de refrigerante que pode levar a possíveis perdas nos produtos ou lesão de indivíduos.

A seguir, algumas recomendações do **IIAR Bulletin 107 – 1997: Guidelines for Suggested Safety and Operating Procedures when Making Refrigeration Plant Tie-Ins [16]** para evitar falhas de componentes em grandes sistemas de refrigeração industrial que podem ser provocados por pressões anormais ou choques mecânicos.

As recomendações contidas neste capítulo se referem a sistemas que utilizam Amônia como fluido refrigerante. Contudo, os princípios envolvidos podem ser aplicados a grandes sistemas de refrigeração utilizando outro fluido refrigerante.

### 6.1 Definições

**Líquido enclausurado** é o preenchimento completo do volume interno de um elemento de contenção pressurizado, tal como um vaso de pressão ou trecho de tubulação, com o líquido refrigerante.

**Desaceleração Súbita do Líquido** é uma rápida diminuição do escoamento do líquido em uma linha ou tubulação como resultado de um fechamento súbito de uma válvula. É também conhecido como choque hidráulico ou golpe de ariete.

**Propulsão de líquido pelo vapor** é o movimento de líquido refrigerante propulsionado ou propelido em alta velocidade por um fluxo de vapor a alta pressão nas

linhas de gás quente e de sucção. É também conhecido como choque hidráulico, golpe de líquido ou “surge”.

## 6.2 Líquido enclausurado

Sempre que o volume interno de um elemento de contenção pressurizado ficar completamente preenchido com o líquido refrigerante, poderão ocorrer falhas se a temperatura do líquido enclausurado aumentar.

Um aumento da temperatura irá causar uma expansão do líquido refrigerante. Como exemplo, o aumento de volume de Amônia líquida a -40oC é em torno de 1% para cada incremento de 5oC na temperatura.

### 6.2.1 Causas

**Líquido enclausurado** é muito freqüentemente causado pelo fechamento inadequado de válvula manuais que aprisionam líquido em um espaço confinado. Isto comumente ocorre durante o procedimento de isolamento enquanto é efetuado a manutenção em um componente da linha de líquido. Exemplos disto incluem o enclausuramento do líquido entre duas válvulas manuais ou entre uma válvula de retenção e uma válvula manual de bloqueio.

A expansão térmica do refrigerante líquido enclausurado causa um aumento da pressão, provocando um aumento do volume ou até mesmo a ruptura do elemento de contenção, que pode perceptivelmente expandir antes da falha ocorrer.

### 6.2.2 Medidas preventivas

O **ANSI/ASHRAE 15-2007** e a **NBR 16069 (Item 9.4.3)** estabelecem que “em um sistema onde as partes que contenham líquido e que este possa ficar enclausurado durante a operação ou manutenção e ainda sujeitas à pressão interna excessiva provocada, por exemplo, pela expansão decorrente do aumento da temperatura, deve ser utilizado um dispositivo de alívio de pressão hidrostática, para aliviar a pressão interna. A descarga do dispositivo de alívio de pressão deve ser para outra parte do sistema”.

Antes de efetuar qualquer serviço em uma válvula de controle ou outros componentes na linha de líquido, o líquido deverá ser removido de ambos os lados do dispositivo. Primeiramente, deve ser fechada a válvula manual de bloqueio no lado da entrada para remoção do líquido do componente e do lado à jusante (evacuado ou recolhido). Apenas depois é que se deve fechar a válvula da sucção ou do lado à jusante, isolando portanto o componente do sistema. A seguir são apresentadas algumas sugestões para prevenção da expansão térmica de líquido enclausurado:

- As válvulas de retenção na linha de líquido deverão ser instaladas no fluxo à jusante (no lado de saída) de válvulas solenóides. Válvulas de retenção na linha de líquido instaladas a montante terão problemas, pois a entrada das válvulas solenóides irá enclausurar o líquido quando a válvula solenóide for desenergizada.
- Não se deve fechar válvulas “King” (válvula principal de um vaso) de operação manual em recipientes de líquido durante uma queda do fornecimento de energia elétrica. Isto irá enclausurar o líquido entre a válvula “King” e as diversas válvulas solenóides da linha de líquido dos evaporadores. Caso for utilizada uma válvula “King” solenóide, ela irá se fechar em caso de falta de energia, porém esta permite fluxo reverso em caso de expansão, evitando assim o enclausuramento de líquido.
- As bombas de líquido deverão possuir na linha de descarga (recalque) uma válvula de alívio ou uma válvula reguladora de pressão, com alívio para a sucção da bomba (ou para o separador de líquido, no lado do vapor). O alívio deverá ser instalado à jusante da válvula de retenção da descarga da bomba para prevenir o enclausuramento do líquido quando todas as válvulas solenóides dos evaporadores forem fechadas. Qualquer válvula de bloqueio manual na linha de alívio deverá possuir um “cap” (ou possuir uma trava) e estar claramente identificada com um aviso contra fechamento. Este trecho da tubulação deve estar equipado com um manômetro.
- O conjunto de válvulas de controle para injeção gás quente de degelo automático nos evaporadores deve ser montado de tal forma que uma elevação de pressão anormal do líquido seja aliviada durante os ciclos de degelo ou em caso de perda de energia. Um dispositivo de alívio de pressão de degelo descarregando para a sucção ou outra pressão intermediária é aceitável. Caso o alívio for para uma parte com pressão intermediária, deve ser instalada uma válvula de retenção à jusante do dispositivo de alívio. Não se deve conectar a linha de alívio para uma

linha contendo líquido ou para linhas de alimentação de gás quente provocando o fluxo reverso nas válvulas solenóides de gás quente ou reguladores de pressão de saída de gás quente.

- Em caso de degelo simultâneo em dois ou mais evaporadores com um dispositivo de alívio de pressão de degelo, serão requeridas válvulas de retenção para evitar fluxo reverso no dispositivo de alívio, quando a pressão de saída do evaporador for maior que a pressão de evaporação.

## 6.3 Desaceleração súbita do líquido

A Desaceleração Súbita do Líquido é similar ao golpe de aríete em um sistema de distribuição de água que não possua absorvedores de choques devido à presença de ar na tubulação.

### 6.3.1 Causas

A Desaceleração Súbita do Líquido pode ser causada pelo escoamento em uma linha de líquido que possui seu deslocamento interrompido pelo fechamento de uma válvula solenóide que atua instantaneamente. Contudo, as velocidades e pressões de projeto nas linhas de líquido dos sistemas bombeados são normalmente muito baixas para produzirem choques de qualquer significância.

### 6.3.2 Medidas preventivas

Para evitar este problema recomenda-se o uso de válvulas solenóides que possuam um retardo de fechamento por volta de um segundo. Válvulas que possuem dispositivos de retardo propiciam este atraso e estão disponíveis no mercado.

A alimentação de líquido a alta pressão para um vaso de baixa pressão ou um evaporador de expansão direta deve ter uma válvula solenóide instalada o mais próximo possível do dispositivo de injeção de líquido e junto ao vaso ou evaporador. Caso contrário, quando a solenóide fechar, a linha à jusante será esvaziada, e ao reabrir, líquido a alta pressão irá rapidamente preencher a linha causando um choque de desaceleração súbita de líquido no dispositivo de injeção. Isto pode acontecer com maior frequência

em sistemas com linha de líquido subresfriada (ex. após um “economiser”) antes da válvula solenóide.

## 6.4 Propulsão de líquido pelo vapor

Praticamente todos os sistemas de refrigeração industrial são seguros e operam, em circunstâncias normais, sem problemas resultante de líquido refrigerante propelido em alta velocidade por um fluxo de vapor a alta pressão. Contudo, condições anormais e incomuns podem causar uma situação em um sistema onde nem o projeto nem procedimentos de operação tenham previsto estes problemas.

A maioria dos relatos de problemas envolvendo Propulsão de Líquido pelo Vapor ocorre em sistemas de baixa temperatura operando abaixo de  $-30^{\circ}\text{C}$ , utilizando sistema de líquido bombeado e degelo através de gás quente. Problemas semelhantes têm ocorrido também em sistemas com degelo com água. Técnicas de degelo por ar, por resistência elétrica ou spray de glicol, tendem a ser menos agressivos em comparação ao degelo por gás quente em evaporadores com baixas temperaturas.

47

### 6.4.1 Causas

A propulsão de líquido pelo vapor pode ser causada pela súbita liberação de vapor a alta pressão, tal como gás quente, para uma linha que está parcialmente preenchida com líquido. Dois exemplos seriam:

- i. Uma linha de gás quente contendo algum líquido condensado utilizada para degelo em um ou mais evaporadores; ou
- ii. A liberação súbita de fluxo bi-fásico pressurizado de um evaporador que passou por degelo para a linha de sucção úmida enclausurada ou de inclinação incorreta.

Pelo fato de liberações súbitas de gás poderem alcançar velocidades de 30 m/s, a pressão de impacto resultante produzida por uma bolha de líquido pode exceder 20000 kPa (200 bar).

Choques anormais em um sistema causado por propulsão de líquido pelo vapor são acompanhados por sintomas externos, incluindo:

- Ruídos intensos como pancadas e batidas;
- Deslocamento da tubulação e movimentação dos evaporadores;
- Desprendimento do isolamento térmico da tubulação;
- Vazamentos podem aparecer.

Se o primeiro choque não causar um vazamento ou ruptura, choques repetidos podem eventualmente levar a uma falha maior.

## 6.4.2 Medidas preventivas

Uma mudança súbita na pressão, que é característica no ciclo de degelo com gás quente, é a causa básica da maioria dos problemas de Propulsão de Líquido pelo Vapor. É importante que a pressão seja introduzida gradualmente ao evaporador no início do degelo e que seja feita uma drenagem gradual no término do degelo.

Deverão ser utilizadas válvulas de abertura gradual ou lenta, ou um grupo de válvulas, para a introdução de gás quente no evaporador que passará pelo degelo. Após o degelo, é necessário diminuir gradualmente a pressão do evaporador antes de iniciar a abertura da válvula de sucção principal. Isto pode ser feito normalmente com a instalação de uma pequena válvula de “bypass” da válvula de sucção principal, com regulação de pressão.

### 6.4.2.1 Líquido em linhas de gás quente

Ao usar gás quente para degelo, é importante que a parcela de líquido condensado na linha de gás quente seja previamente removida, ou melhor, deve-se evitar a condensação na linha de gás quente. A seguir são apresentadas algumas recomendações para prevenção de problemas envolvendo líquido na linha de gás quente:

- Deve-se isolar termicamente toda a linha de gás quente para minimizar a condensação. Isto é especialmente importante em linhas de gás quente passando por lugares não aquecidos, em lugares refrigerados ou expostos ao ambiente. A não ser que a superfície interna da tubulação permaneça a uma temperatura acima da temperatura de saturação do gás quente antes da válvula solenóide (que é praticamente a temperatura de condensação – cerca de 30-35°C), a condensação de líquido refrigerante irá ocorrer na linha. Principalmente quando não houver



fluxo de gás quente ou quando a injeção de gás quente ocorrer via a tomada de vapor na parte superior do recipiente de líquido (o chamado “gás úmido” por alguns técnicos).

- Drenos de líquido deverão ser instalados em qualquer ponto baixo da tubulação (em qualquer ponto de sifonamento, onde possa haver acúmulo de líquido). O líquido deve ser drenado para o lado de baixa pressão do sistema (ex. separador de líquido).
- A linha de gás quente nunca deve ser superdimensionada. Não deve ser maior que a capacidade máxima requerida para a quantidade de gás quente necessária em um ciclo de degelo para um determinado conjunto de evaporadores. Não se faz o processo de degelo em todos os evaporadores ao mesmo tempo.
- Recomenda-se instalar uma válvula solenóide “King” (válvula principal) de gás quente na sala de máquinas que abre apenas quando existe uma demanda por gás quente à jusante da válvula. Esta deverá ser uma válvula de abertura gradual, que demore de 3 a 5 minutos para estar totalmente aberta. Ao aumentar gradualmente a pressão na linha principal de gás quente, pode-se evitar a formação e aceleração de bolhas de líquido pela descarga de gás quente. Neste caso, apenas o gás quente remanescente na linha (após a válvula) quando a válvula estiver fechada poderia eventualmente condensar, o qual preencheria menos de 5% do volume total da tubulação.

**CUIDADO:** A temperatura ambiente pode colapsar a pressão de gás quente no coletor principal, abaixo da pressão de sucção do evaporador. Caso uma mesma linha principal alimenta evaporadores com pressões de sucção diferentes, gás e líquido retornarão pela válvula solenóide de gás quente de maior pressão e preencherão a linha de gás quente de pressão mais baixa. Válvulas de retenção são necessárias na entrada de gás quente de cada serpentina ou entre a bandeja de dreno de condensado (aquecida com gás quente) e a serpentina, para prevenir fluxo reverso quando válvulas “King” de gás quente forem usadas.

- Reguladores de pressão de saída com bloqueio elétrico pilotado (ao invés de válvula solenóide) deverão ser utilizados para propiciar um correto fechamento e regular a pressão de gás quente à jusante. Contudo, estes reguladores não são dispositivos de abertura lenta. O regulador de pressão tem a função de controlar a máxima pressão de alimentação de gás quente no evaporador em degelo e

ajudar a estabilizar o tempo de degelo, que de outra forma, poderá variar caso haja flutuações de pressão.

- No caso da Amônia, o ajuste de pressão de saída para estes reguladores variam de 600 a 750 kPa g (6.0 a 7.5 bar g), quando o dispositivo estiver localizado próximo das serpentinas a serem submetidas ao processo de degelo. O ajuste não deve ser inferior a um diferencial de pressão de 200 kPa g (2.0 bar g) da pressão de ajuste do regulador de alívio do degelo.
- Deve-se evitar fazer a alimentação de gás quente pelas linhas de sucção contendo líquido, tais como em sistemas bombeados. Ocasionalmente, gás quente é introduzido no evaporador pelas linhas de sucção. Quando o gás quente entra nas linhas de sucção, sua entrada deve ser o mais próximo possível do evaporador.
- Recomenda-se que, para grandes túneis de congelamento operando em sistemas com compressores em “Booster”, o alívio do retorno do degelo seja para uma pressão de sucção intermediária, em torno de 140 a 250 kPa g (1.4 a 2.5 bar g – com temperatura de evaporação em torno de -15°C a -5°C), através de uma linha de alívio dedicada. Caso houver mais de uma serpentina ou mais de um conjunto de serpentinas alimentando o condensado para um único dispositivo de alívio ou de dreno de condensado, deverá haver uma válvula de retenção na saída de Amônia condensada de cada serpentina.
- Ao final do ciclo de degelo, a equalização gradual da pressão de degelo com a pressão da linha de retorno é igualmente importante em evaporadores inundados ou em sistemas bombeados. Recomenda-se para sistemas inundados, a utilização de um regulador de alívio do degelo com um dispositivo de ampla abertura, acionado através de um piloto solenóide, para despressurizar o evaporador.
- Grandes evaporadores operando em baixas temperaturas devem ser equalizados lentamente, antes que a válvula de bloqueio automática principal na linha de sucção seja acionada. Esta função é vital. Para assegurar que os evaporadores estão completamente esvaziados ao final do degelo, recomenda-se ainda uma pequena válvula solenóide de equalização como “by-pass” da válvula de bloqueio principal da sucção.
- Para a solenóide de equalização utiliza-se frequentemente um orifício com diâmetro de 13 mm (1/2”) ou 1 diâmetro nominal inferior ao da válvula solenóide da linha de líquido. Uma válvula bem dimensionada irá promover a equalização do evaporador até a pressão de sucção em 3 ou 4 minutos.

- Em sistemas de refrigeração de múltiplos regimes, o alívio do degelo deve ser realizado sempre para uma pressão intermediária, com uma válvula de retenção na saída do dispositivo de alívio (para evitar fluxo reverso quando o evaporador estiver operando em condição normal). Neste caso, deve-se observar que não é possível realizar a equalização final através do dispositivo regulador de alívio de degelo (interligado à linha com pressão intermediária) e a válvula solenóide de equalização descrita anteriormente, se torna absolutamente necessária.
- Recomenda-se ainda instalar um termostato de ambiente, preferencialmente com o sensor instalado no retorno de ar para o evaporador, para identificar condições de baixa carga térmica e fechar a válvula solenóide da linha de líquido.



# 7. Literatura de referência/ bibliografia utilizada

Além das normas e “standards” internacionais mencionados no item 2.1, foram utilizadas as seguintes referências:

## 7.1 Referências

- [1] **IIAR Bulletin 112 – 1998:** Guidelines for: Ammonia Machinery Room Design – International Institute of Ammonia Refrigeration.
- [2] **ANSI/NFPA 68 –** Guide to Venting of Deflagration – National Fire Protection Association.
- [3] **ABNT NBR 13193-1994 –** Emprego de Cores para Identificação de Tubulações de Gases Industriais – Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [4] **ABNT NBR 6493-1994 –** Emprego de Cores para Identificação de Tubulações – Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [5] **IIAR Bulletin 114 – 1991:** Guidelines for: Identification of Ammonia Refrigeration Piping and System Components – International Institute of Ammonia Refrigeration.
- [6] **ABNT NBR IEC 60079-10 –** Equipamentos Elétricos para Atmosferas Explosivas – Parte 10: Classificação de Áreas – Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [7] **NFPA 70-2002 –** National Electrical Code®, National Fire Protection Association.
- [8] **ABNT NBR 5410-2004 –** Instalações Elétricas de Baixa Tensão – Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [9] **ABNT NBR 14039-2003 –** Instalações Elétricas de Média Tensão de 1,0 kV a 36,2 kV – Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [10] **NR-10 – 2004/2005 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade –** Normas Regulamentadoras da Legislação de Segurança e Saúde no Trabalho – Ministério do Trabalho – Lei nr. 6514 – 22/12/1977.
- [11] **IIAR Bulletin 111 – 2002:** Guidelines for: Ammonia Machinery Room Ventilation – International Institute of Ammonia Refrigeration.

- [12] **ANSI/ASHRAE Standard 34-2007** – Designation and Safety Classification of Refrigerants – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- [13] **NFPA 30** – Flammable and Combustible Liquids – National Fire Protection Association.
- [14] **NR-15 – 2008** – Atividades e Operações Insalubres – Normas Regulamentadoras da Legislação de Segurança e Saúde no Trabalho - Ministério do Trabalho – Lei nr. 6514 – 22/12/1977.
- [15] **ASHRAE Handbook of Fundamentals** – American Society of Heating Air Conditioning and Refrigerating Engineers – Ed. 2005
- [16] **IIAR Bulletin 107 – 1997**: Guidelines for: Suggested Safety and Operating Procedures when Making Refrigeration Plant Tie-Ins – International Institute of Ammonia Refrigeration.
- [17] **IIAR Bulletin 116 – 1992**: Guidelines for: Avoiding Component Failure in Industrial Refrigeration Systems Caused by Abnormal Pressure or Shock – International Institute of Ammonia Refrigeration.

## 7.2 Bibliografia

**ASHRAE Handbook of Refrigeration** – American Society of Heating Air Conditioning and Refrigerating Engineers – Ed. 2006

**IIAR – Ammonia Data Book** – International Institute of Ammonia Refrigeration – Ed. 1993 Rev. 1997.

**AIChE-CCPS – Guidelines for Engineering Design for Process Safety** – American Institute of Chemical Engineers – Center for Chemical Process Safety – Ed. 1993.

Johnson, R.J., “Mother Nature’s Legacy – Coil Frost”, IIAR Technical Paper T-108, 1988.

Loyko, L., “Hydraulic Shock in Ammonia Systems”, IIAR Technical Paper T-125, 1989.

Stoecker, W.F., Industrial Refrigeration, Business News Publishing Company, Troy, MI, 1998.

Strong, A.P., “Hot Gas Defrost: A-One A-More A-Time”, IIAR Technical Paper T-53, 1984.

Strong, A.P., “Hot Gas Defrost: A-One A-More A-Time”, IIAR Technical Paper T-53, 1984.