



PROGRAMA  
BRASILEIRO DE  
ELIMINAÇÃO DOS  
**HCFCs**  
Projeto para o Setor de RAC

# Workshop

Fluidos Frigoríficos Alternativos para  
Equipamentos de Refrigeração Comercial

**HIDROFLUOREFINA  
HFO**

**13 DE JUNHO DE 2019**

---

**Autores:**

Eng. Edgard Soares Pinto Neto - Especialista Nacional em Refrigeração do Projeto RAC - UNIDO

Eng. Enio Bandarra - Consultor

Eng. David Marcucci - Consultor

**Revisão Técnica:**

Frank Amorim - Analista Ambiental do Ministério do Meio Ambiente

**Coordenação:**

Magna Ludovice – Analista Ambiental do Ministério do Meio Ambiente

Sérgia de Souza Oliveira - Consultora Nacional do Projeto RAC - UNIDO

Este documento foi elaborado pela equipe técnica do Projeto de Refrigeração e Ar Condicionado, PROJETO RAC, no âmbito do Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH) – Etapa 2, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente e executado pela Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial.

Todas as atividades e procedimentos a serem realizados no escopo do assunto abordado nesse Boletim Técnico são de inteira responsabilidade do executor, cabendo a este buscar informações adicionais, realizar treinamentos, adotar os procedimentos de segurança necessários e legais e usar as ferramentas compatíveis com a alternativa selecionada. Este Boletim não deve ser a única referência sobre o assunto uma vez que não contém informações detalhadas para qualquer execução e não se caracteriza como um treinamento.

---

## 1 Proteção da Camada de Ozônio

O ozônio (O<sub>3</sub>) é um dos gases que compõem a atmosfera e cerca de 90% de suas moléculas se concentram entre 20 e 35 km de altitude, região denominada Camada de Ozônio.

A importância do Ozônio está no fato de ser o único gás que filtra o excesso de radiação ultravioleta do tipo B (UV-B), que é nociva aos seres vivos. A exposição a esta radiação está associada aos riscos de danos à visão, ao envelhecimento precoce, à supressão do sistema imunológico e ao desenvolvimento do câncer de pele. Os raios ultravioletas também causam prejuízos nos estágios iniciais do desenvolvimento de peixes, camarões, caranguejos e outras formas de vida aquáticas, além de reduzir a produtividade do fitoplâncton, base da cadeia alimentar aquática, provocando desequilíbrios ambientais.

A camada de ozônio começou a sofrer com os efeitos da poluição crescente provocada pela industrialização mundial, em especial a utilização de produtos químicos como Halon, Tetracloreto de Carbono (CTC), Hidroclorofluorcarbono (HCFC), Clorofluorcarbono (CFC) e Brometo de Metila. Essas substâncias, quando liberadas no meio ambiente, deslocam-se atmosfera acima, degradando a camada de ozônio por meio de uma reação química entre átomos de bromo ou cloro e a molécula de ozônio.

O “buraco da camada de ozônio” é o fenômeno de queda acentuada na concentração do ozônio. As substâncias químicas que a degradam são denominadas “Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio” (SDOs).

Em 1985, um conjunto de nações se reuniu na Áustria manifestando preocupação técnica e política quanto aos possíveis impactos que poderiam ser causados com o fenômeno da redução da camada de ozônio. Nesta ocasião foi formalizada a Convenção de Viena para a Proteção da Camada de Ozônio que propiciou a pactuação do Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio no ano de 1987. Esse tratado objetiva proteger a camada de ozônio por meio da eliminação da produção e do consumo das SDOs e é o único acordo ambiental multilateral com adoção universal, tendo 197 Estados Partes, sendo um deles o Brasil, cuja adesão data de 1990.

Para a adequada implementação do Protocolo de Montreal, foi criado o Fundo Multilateral (FML), mecanismo financeiro que provê assistência técnica e financeira aos países em desenvolvimento (caso do Brasil), contribuindo para a eliminação da produção e do consumo das SDOs de acordo com os cronogramas específicos de eliminação de cada substância química controlada.

Na 19ª Reunião das Partes do Protocolo de Montreal ocorrida em setembro de 2007, as Partes decidiram, por meio da Decisão XIX/6, antecipar os prazos de eliminação da produção e do consumo dos Hidroclorofluorcarbonos – HCFCs, considerando que essas substâncias, além do potencial de destruição da camada de ozônio, possuem alto potencial de aquecimento global.

### Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFC (PBH)

Com o objetivo de desenvolver ações para controlar e eliminar o consumo dos HCFCs no Brasil, foi elaborado o Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH). Dividido em três etapas (Etapa 1, Etapa 2 e Etapa 3), o PBH é o documento que apresenta o diagnóstico do consumo dos HCFCs no País e define as diretrizes e ações a serem executadas para a eliminação dessas substâncias no Brasil até 2040, adotando a estratégia de redução escalonada de seu consumo segundo o cronograma a seguir:

|                |      |  |
|----------------|------|--|
| <b>Etapa 1</b> | 2013 | Congelamento do consumo dos HCFCs (Linha de Base <sup>a1</sup> ) |
|                | 2015 | Redução de 16,6% do consumo de HCFCs sobre a LB                  |
| <b>Etapa 2</b> | 2020 | Redução de 39,3% do consumo de HCFCs sobre a LB                  |
|                | 2021 | Redução de 51,6% do consumo de HCFCs sobre a LB                  |
| <b>Etapa 3</b> | 2025 | Redução de 67,5% do consumo de HCFCs sobre a LB                  |
|                | 2030 | Redução de 97,5% do consumo de HCFCs sobre a LB <sup>b</sup>     |
|                | 2040 | Eliminação do consumo de HCFCs                                   |

**Fonte:** <http://mma.gov.br/clima/protecao-da-camada-de-ozonio/acoes-brasileiras-para-protecao-da-camada-de-ozonio/programa-brasileiro-de-eliminacao-dos-hcfc-pbh>

<sup>a</sup> Linha de Base (LB) correspondente à média do consumo de HCFCs para os anos de 2009 e 2010

<sup>b</sup> Consumo residual de 2,5% somente para o setor de serviço de refrigeração.

A Etapa 1 do PBH está no último ano de sua implementação, tendo sido iniciada em 2012 com o objetivo de cumprir as metas de congelamento do consumo de HCFCs em 2013 e a redução de 16,6% em 2015.

Em 2014, o Governo Brasileiro coordenou as ações de coleta de dados e informações para a elaboração da Etapa 2, que contempla o diagnóstico do consumo de HCFCs entre os anos 2009 a 2013 nos diversos setores que utilizam estas substâncias e apresenta a estratégia a ser adotada pelo Brasil para a redução de HCFCs nos anos de 2020 e 2021. A Etapa 2 do PBH prevê a redução de 39,3% de HCFCs em 2020 e de 51,6% em 2021, conforme estabelecido pela Instrução Normativa Ibama nº 04, de 14 de fevereiro de 2018<sup>2</sup>.

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) é o coordenador do PBH e conta com o apoio do IBAMA no controle da importação e da exportação dos HCFCs. As agências implementadoras (PNUD, UNIDO e GIZ) executam as ações e auxiliam financeira e tecnicamente o setor produtivo brasileiro, que utiliza HCFCs, na migração para alternativas tecnológicas que não degradam a camada de ozônio e possuem baixo impacto ao sistema climático global.

Este material técnico faz parte das ações da Etapa 2 do PBH, especificamente do seu Componente 3, que trata dos projetos de conversão industrial para o setor de manufatura de equipamentos de refrigeração e ar condicionado cujo objetivo é promover a eliminação de 1.110,04 t SDO (61,06 t PDO) de HCFC-22 até 2021.

## 2 Objetivo

Este boletim tem por objetivo reunir informações básicas sobre hidrofluorolefinas, usualmente denominados HFOs, e as suas aplicações como fluido frigorífico. As informações que constam neste boletim visam auxiliar técnicos e engenheiros de refrigeração, bem como pessoas

<sup>1</sup> Fonte: <http://www.mma.gov.br/clima/protecao-da-camada-de-ozonio/programa-brasileiro-de-eliminacao-dos-hcfc/documentacao>.

<sup>2</sup>

responsáveis pelo processo de tomada de decisão, para a conversão de equipamentos de refrigeração para o uso dos HFOs como fluido refrigerante.

Desta forma, este boletim contém informações a respeito dos fluidos hidrofluorolefinas (HFOs), e das regulamentações existentes. Aborda, ainda, questões relacionadas às modificações necessárias nos equipamentos e nas fábricas, mais precisamente na área de manufatura; sugere algumas medidas fundamentais para os serviços em campo e destaca aspectos relacionados à segurança e aos custos.

Destaca-se que este Boletim não pretende ser a única e completa referência sobre o assunto, assim, todas as atividades e procedimentos a serem realizados são de inteira responsabilidade das empresas, cabendo-lhes buscar outras informações disponíveis, bem como realizar treinamentos adequados, adotar os procedimentos de segurança necessários e legais e usar ferramentas compatíveis com a alternativa selecionada.

### 3 História e características básicas dos fluidos refrigerantes

Resumidamente, a história do uso dos fluidos refrigerantes pode ser apresentada observando o desenvolvimento da tecnologia e o impulso dado por descobertas globais sobre os efeitos adversos dessas substâncias para o homem e o meio ambiente.

#### Gerações dos Fluidos Refrigerantes – Histórico

A refrigeração e a climatização de ambientes são uma das mais importantes criações da civilização moderna e é tida como uma das maiores realizações de engenharia do século XX<sup>3</sup>. A possibilidade de armazenar alimentos resfriados ou congelados impulsionou metodologias para armazenar gelo. Segundo relatos históricos, a primeira demonstração científica para produção de gelo foi executada por Willian Cullen por volta de 1748, que utilizou éter como fluido refrigerante, uma vez que essa substância é capaz de absorver calor, vaporizar e criar gelo<sup>4</sup>.

Jacob Perkins, em 1834, foi o responsável pela primeira patente de um ciclo de refrigeração, utilizando o éter etílico<sup>3</sup>. James Harrison, entre 1856 e 1857, obteve patentes britânicas ao criar um equipamento utilizando o princípio da refrigeração por compressão mecânica. A partir deste momento diversas máquinas começaram a ser criadas e diversos fluidos refrigerantes começaram a ser testados.

Este primeiro momento ficou conhecido como a primeira geração de fluidos refrigerantes, e durou aproximadamente um século, de 1830 a 1930, tendo sido marcado pela utilização de fluidos refrigerantes naturais, como a amônia (NH<sub>3</sub>), o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o propano (R-290) e o isobutano (R-600a). O critério de escolha do fluido dependia da sua disponibilidade e de qual substância funcionava melhor de acordo com o tipo de aplicação. Destaca-se que nesta época o desenvolvimento tecnológico e o conhecimento a respeito dos fluidos ainda eram limitados, bem como a disponibilidade de componentes e soluções compatíveis com essas substâncias.

Em um segundo momento, por volta de 1920, impulsionado pelo desenvolvimento industrial e pela disponibilidade de sistemas de refrigeração totalmente herméticos, os refrigeradores domésticos começaram a ser desenvolvidos e fabricados, mas esses equipamentos ainda

<sup>3</sup> <http://www.greatachievements.org/>

<sup>4</sup> [http://www.mma.gov.br/estruturas/ozonio/\\_publicacao/130\\_publicacao24082011121500.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/ozonio/_publicacao/130_publicacao24082011121500.pdf)

precisavam de um fluido refrigerante adequado à realidade da época. Por volta de 1926, o primeiro fluido refrigerante sintético, o CFC-12 (clorofluorcarbono 12) foi desenvolvido por Thomas Midgley Jr. Os CFCs ganharam mercado rapidamente, tanto em aplicações industriais como residenciais, pois eram termodinamicamente eficientes e não eram inflamáveis nem tóxicos, solucionando importantes problemas de segurança.

A popularidade dos CFCs criou um cenário favorável à ampliação de sua utilização em novas aplicações, aumentando também o campo de pesquisa e o desenvolvimento tecnológico que, com o passar dos anos, culminou no surgimento de novas alternativas, tais como os HCFCs, e mais tarde, os HFCs. Nos anos 70, cientistas apresentaram estudos demonstrando que a destruição da camada de ozônio estava diretamente relacionada com a utilização dos CFCs.

A segunda geração de fluidos refrigerantes durou entre 1930 e 1990 e foi marcada por um forte desenvolvimento tecnológico e pela segurança e durabilidade dos sistemas de refrigeração e ar condicionado.

O fim da segunda geração de fluidos refrigerantes está relacionado ao advento do Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio, que promoveu a eliminação dos CFCs e vem promovendo a eliminação dos HCFCs.

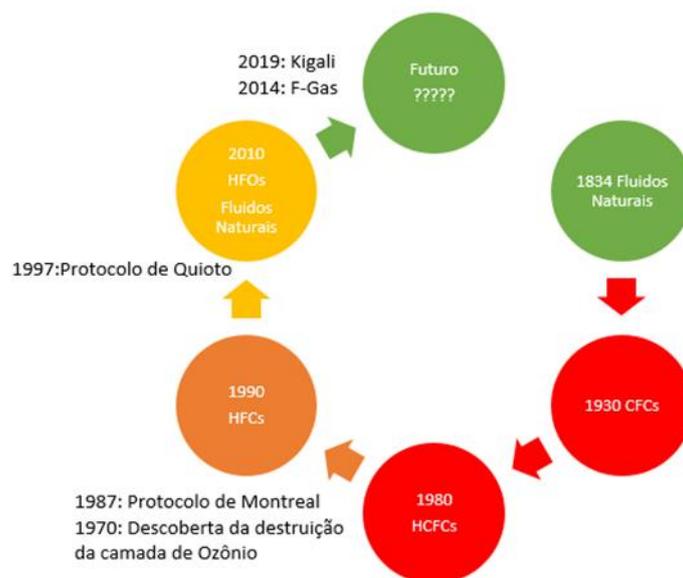


Figura 01: Breve história dos refrigerantes ao longo dos anos.

A terceira geração de fluidos é marcada pelo aumento da conscientização ambiental e contribuiu, em âmbito global, para auxiliar o processo de eliminação dos CFCs e vem contribuindo também para a eliminação dos HCFCs, uma vez que as alternativas disponíveis, tais como os HFCs e fluidos naturais, não contribuem para a degradação da camada de ozônio. No entanto, os Hidrofluorcarbonos (HFCs) são, em sua maioria, substâncias de alto impacto para o sistema climático global, e, em virtude disto, entraram para a lista de substâncias controladas pelo Protocolo de Montreal, após a aprovação da Emenda de Kigali<sup>5</sup>, em 2016. No Brasil, em um

<sup>5</sup> Emenda de Kigali: institui o controle dos HFC no âmbito do Protocolo de Montreal e estabelece obrigações de redução (*phase-down*) gradativa de seu consumo e produção, tendo como referência uma linha de base previamente determinada. Entrou em vigor em 01 de janeiro de 2019. No Brasil, o texto da

futuro próximo, espera-se que os HFCs passem a ter seu consumo controlado e reduzido. A Figura 01 descreve a evolução histórica dos fluidos frigoríficos ao longo dos anos.

Nos últimos anos, os fluidos naturais impulsionados pelo domínio dos sistemas de refrigeração, pelo desenvolvimento tecnológico, pela disponibilidade de componentes e pela existência de ferramentas compatíveis, voltaram a ganhar força como alternativas sustentáveis.

Alternativamente, a indústria química tem se empenhado no desenvolvimento de novos fluidos que não agridam a camada de ozônio, possuam baixo impacto ao sistema climático global e não apresentem elevado grau de inflamabilidade e de toxicidade. Esses fluidos são denominados HFOs ou hidrofluorolefinas.

### Mas o que são realmente os fluidos frigoríficos e quais são as suas características?

Os fluidos frigoríficos são substâncias usadas para transferência de calor em um sistema de refrigeração, absorvendo o calor de uma fonte fria e o transferindo para uma fonte quente, com maior temperatura e pressão (ver Figura 02). Esse processo ocorre, usualmente, com mudança de fase<sup>6</sup>.

Conforme apresentado anteriormente, os fluidos frigoríficos HCFCs terão seu consumo reduzido até sua completa eliminação em 2040. Atualmente, existe uma grande variedade de fluidos frigoríficos alternativos ao HCFC-22. Na Norma brasileira ABNT NBR 16666:2018 estão listados a designação e classificação de segurança de uma grande variedade de fluidos frigoríficos existentes.

Entre as substâncias alternativas ao HCFC-22, destacam-se os HFCs, hidrocarbonetos (HCs), amônia (R-717), dióxido de carbono (R-744) e HFCs insaturados (comercialmente chamados de HFOs). Cada uma dessas substâncias possui características particulares e deve ser avaliada quanto às restrições de uso.

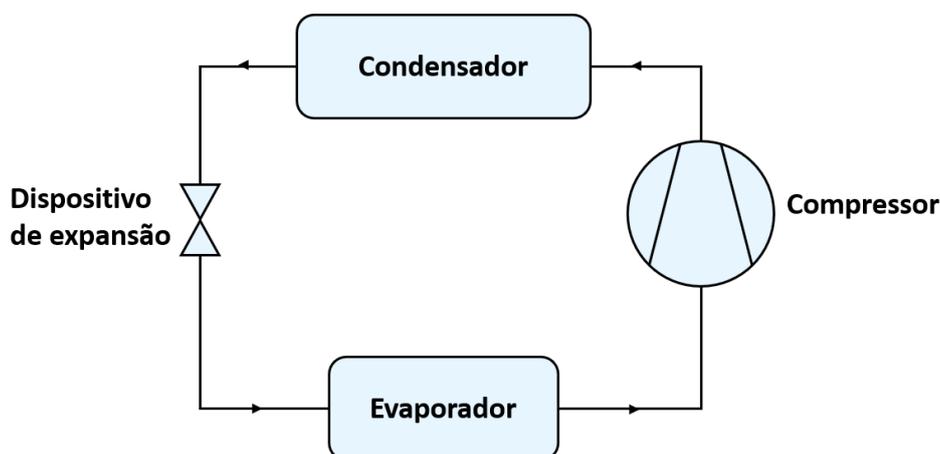


Figura 02: Sistema de refrigeração

A seleção de um fluido frigorífico para determinado sistema de refrigeração ou de condicionamento de ar é uma das mais importantes etapas de um projeto. A substância a ser

---

Emenda encontra-se no Congresso Nacional e uma vez aprovado será depositado na ONU e promulgado pelo Presidente da República.

<sup>6</sup> ABNT NBR 16666:2018 - Fluidos frigoríficos — Designação e classificação de segurança

escolhida deve levar em consideração os custos envolvidos e a eficiência do sistema, bem como os impactos ambientais, de segurança e de confiabilidade.

Com a finalidade de tomar uma decisão correta com relação à escolha mais apropriada de um fluido refrigerante, há a necessidade de avaliar os vários fatores e as propriedades das alternativas disponíveis. Os critérios mais importantes para a seleção de uma tecnologia e fluido refrigerante são os seguintes:<sup>7</sup>

- Disponibilidade;
- Custo/benefício;
- Ter propriedades termodinâmicas e de transferência de calor favoráveis;
- Possuir elevado calor latente de vaporização;
- Pressão de condensação moderada;
- Evaporar-se a pressões acima da atmosférica;
- Ser quimicamente estável;
- Não ser corrosivo;
- Lubrificante compatível com o fluido refrigerante (solubilidade);
- Compatibilidade do fluido refrigerante / lubrificante com os componentes e materiais do equipamento;
- Inflamabilidade (segurança);
- Não ser tóxico (segurança);
- Aceitação do Mercado;
- Requisitos e condições de serviços de pós-venda;
- Requerimentos para fornecimento de kits dos fabricantes originais do equipamento;
- Elevada eficiência energética;
- Reduzido impacto ambiental, incluindo os danos à camada de ozônio e o impacto direto e indireto ao sistema climático global.

Atualmente, considerando os compromissos assumidos pelo Brasil, que incluem os aspectos ambientais, os fluidos refrigerantes adequados devem possuir zero potencial de destruição da camada de ozônio (0 PDO, da sigla, **P**otencial de **D**estruição da **C**amada de **O**zônio), e devem apresentar baixo potencial de aquecimento global (baixo GWP, da sigla em inglês, **G**lobal **W**arming **P**otential).

O Comitê de Opções Tecnológicas para Refrigeração, Ar Condicionado e Bombas de Calor - RTOC (UNEP, 2014<sup>8</sup>), do Protocolo de Montreal, adota a classificação apresentada na Tabela 01 como indicativa do potencial de aquecimento global dos fluidos refrigerantes.

Tabela 01 - Classificação dos níveis de GWP.

| GWP <sup>100</sup> | Classificação              |
|--------------------|----------------------------|
| < 30               | Ultra-baixo ou Desprezível |
| < 100              | Muito baixo                |
| < 300              | Baixo                      |
| 300–1.000          | Médio                      |
| > 1.000            | Alto                       |

<sup>7</sup> MMA. Programa Brasileiro de eliminação de HCFC – ETAPA2, ANEXO 12.1. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80179/PROGRAMA%20BRASILEIRO%20DE%20ELIMINACAO%20DOS%20HCFCs%20%20PBH\\_Diagramado%201.PDF](http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80179/PROGRAMA%20BRASILEIRO%20DE%20ELIMINACAO%20DOS%20HCFCs%20%20PBH_Diagramado%201.PDF)>

<sup>8</sup> UNEP (2014). *2014 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps. Technical Options Committee of Montreal Protocol*. Nairobi, Kenya.

|          |            |
|----------|------------|
| > 3.000  | Muito alto |
| > 10.000 | Ultra-alto |

## 4 Hidrofluorefinas (HFO)

Os HFOs, hidrofluorefinas, são moléculas de HFCs insaturadas. Devido a esta característica, as moléculas se tornam instáveis na presença de ar, tornando o fator de aquecimento global (GWP) baixo. Essas moléculas surgiram por meio de uma parceria entre duas empresas fabricantes de fluidos frigoríficos que se uniram para desenvolver um fluido com zero potencial de destruição da camada de ozônio e baixo potencial de aquecimento global com a finalidade de substituir o HFC-134a em aplicações de ar condicionado automotivo. Em 2008, a substância denominada de HFO-1234yf foi apresentada para a Sociedade de Engenheiros Automotivos (SAE)<sup>9</sup>. Deste então diversas HFOs já foram desenvolvidas e aplicadas em sistemas de refrigeração.

### Principais vantagens dos HFOs:

- Zero potencial de destruição da camada de ozônio (PDO=0);
- Potencial de aquecimento global baixo (GWP baixo);
- Não é tóxico (A);
- Comportamento similar aos fluidos frigoríficos HFCs;
- Algumas misturas HFO/HFC podem apresentar classificação de segurança A1, sendo não tóxicas nem inflamáveis;
- As misturas HFO/HFC podem ser utilizadas para substituir fluidos HFCs.

### Principais desvantagens:

- Levemente inflamável (2L);
- Projeto do sistema requer mão de obra qualificada;
- Custo elevado;
- Quando utilizados em misturas HFO/HFC, podem possuir variação significativa na temperatura de evaporação/condensação;
- Pode existir alteração da concentração da mistura em caso de vazamento e, conseqüentemente, causar redução do desempenho do sistema de refrigeração;
- Necessidade de recolher o fluido durante uma manutenção ou no descarte/substituição do equipamento<sup>10</sup>;
- Produtos da combustão dos HFOs são tóxicos.

### Grupo de segurança dos HFOs

A classificação de segurança dos HFOs é A2L<sup>11</sup>. A letra maiúscula indica a toxicidade e o algarismo arábico denota a inflamabilidade.

### Toxicidade:

- “A” indica que o fluido frigorífico não é tóxico em concentrações abaixo de 400 ppm;
- “B” indica que o fluido frigorífico é tóxico em concentrações abaixo de 400 ppm.

<sup>9</sup> <https://refrigeranthq.com/hfo-1234yf-refrigerant-history/>

<sup>10</sup> Mesmo que essa classe de fluidos refrigerantes possua baixo GWP, na maioria das vezes, estão acompanhados de HFCs e a sua liberação não é permitida.

<sup>11</sup> Norma ISO 5149: 2014 - Refrigerating systems and heat pumps - Safety and environmental requirements.

### Inflamabilidade:

- Classe 1: não propaga chamas;
- Classe 2L: levemente inflamável;
- Classe 2: inflamável;
- Classe 3: altamente inflamável.

Tabela 02 – Classificação de segurança de fluidos frigoríficos.

| Classificação   |          | Toxicidade |          |
|-----------------|----------|------------|----------|
|                 |          | Classe A   | Classe B |
| Inflamabilidade | Classe 1 | A1         | B1       |
|                 | Classe 2 | A2L        | B2L      |
|                 |          | A2         | B2       |
| Classe 3        | A3       | B3         |          |

Conforme o critério de classificação de segurança apresentado, os HFOs não são tóxicos e são levemente inflamáveis.

A ficha de segurança da substância deve estar disponível no local onde há o armazenamento e manuseio de um fluido HFO. Neste documento é possível encontrar informações a respeito da substância, no qual cabe destacar:

- Identificação da substância e dos perigos;
- Composição;
- Medidas de primeiros socorros e medidas de combate a incêndio;
- Manuseio e armazenamento;
- Controle de exposição individual;
- Propriedades físico-químicas;
- Informações toxicológicas.

A Tabela 03 apresenta os valores de GWP e a classificação de segurança dos HFOs mais utilizados, assim como algumas misturas HFC/HFO. Essas misturas de HFO/HFC são utilizadas como substitutos de menor impacto ambiental, baixo GWP, quando comparadas aos fluidos HCFC ou HFC, sem a necessidade de realizar alterações significativas nos equipamentos. No entanto, neste boletim não serão apresentadas as informações detalhadas de alguma substância específica, visto que existem diversas substâncias, puras e misturas, e cada uma delas possui suas particularidades em relação à segurança e aplicação. Desta forma, recomenda-se buscar estas informações junto aos fabricantes do HFO de interesse.

Tabela 03 – Composição, GWP e classificação de segurança de HFOs e algumas misturas HFO/HFCs<sup>12</sup>

| Número do fluido frigorífico | Composição          | GWP | Classificação de segurança |
|------------------------------|---------------------|-----|----------------------------|
| R-444A-                      | R-32/152a/1234ze(E) | 93  | A2L                        |

<sup>12</sup> Risto Ciconkov, Refrigerants: there is still no vision for sustainable solutions, *International Journal of Refrigeration* (2017)

|             |                                |       |     |
|-------------|--------------------------------|-------|-----|
| R448        | R-32/125/134a/1234yf/1234ze(E) | 1.400 | A1  |
| R-449A      | R-32/125/1234yf/134a           | 1.400 | A1  |
| R-450A      | R-134a/1234ze(E)               | 570   | A1  |
| R-452A      | R-32/125/1234yf                | 2.140 | A1  |
| R-452B      | R-32/125/1234yf                | 675   | A2L |
| R-454A      | R-1234yf/32                    | 250   | A2L |
| R-454B      | R-1234yf/32                    | 490   | A2L |
| R-454C      | R-1234yf/32                    | 150   | A2L |
| R-513A      | R-1234yf/134a                  | 600   | A1  |
| R-1234yf    | -                              | 4     | A2L |
| R-1234ze(E) | -                              | 7     | A2L |

### Formação de uma mistura explosiva

Os sistemas de refrigeração que utilizam fluidos frigoríficos inflamáveis ou levemente inflamáveis devem ser construídos de modo que qualquer quantidade de fluido que venha a vazar não escoe, ou acumule, em qualquer parte ou componente do sistema de refrigeração que seja uma fonte potencial de ignição, evitando assim a formação de uma atmosfera explosiva e reduzindo o risco de incêndio ou explosão no equipamento e em suas proximidades.

Para que ocorra fogo é necessária a existência de três elementos: um combustível, um comburente e uma fonte de ignição. Esta condição é denominada de triângulo do fogo (Figura 04).

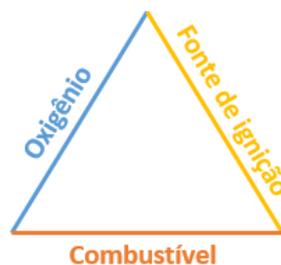


Figura 04 - Triângulo do fogo

Além disso, a mistura de oxigênio e combustível deve existir a uma determinada faixa de concentração, conforme apresentado na Figura 05. A faixa de concentração para a qual há formação de uma atmosfera potencialmente explosiva é dada pelos limites de inflamabilidade inferior (LII) e superior (LIS). Esses limites de inflamabilidade inferior e superior variam para cada substância e definem quando há excesso ou falta de combustível ou comburente (oxigênio) para sustentar a combustão. A eliminação de pelo menos um destes três elementos, oxigênio, combustível e fonte de ignição (ver Figura 04) já é suficiente para impedir a formação do fogo.

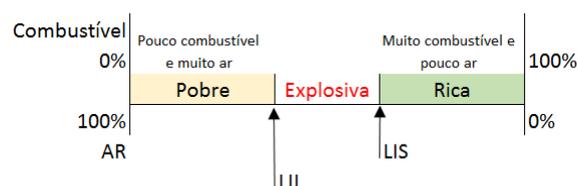


Figura 05 - Limite de Inflamabilidade

LII: limite de inflamabilidade inferior (LFL, em inglês)

LIS: limite de inflamabilidade superior (UFL, em inglês)

### Formas de se evitar a formação do fogo

- Eliminar o oxigênio;
- Eliminar as fontes de ignição;
- Eliminar o combustível (estanqueidade do sistema);
- Manter a concentração de combustível abaixo do limite de inflamabilidade;
- Eliminar a presença de uma fonte de ignição, e;
- Eliminar a combinação de no mínimo duas destas alternativas anteriores.

O oxigênio está presente no ar ambiente em concentração aproximada de 21%. Assim, é recomendado isolar as fontes de ignição e os combustíveis, evitando o início de fogo. É importante assegurar que o fluido refrigerante se mantenha dentro do sistema de refrigeração ao longo da sua vida útil e que a possibilidade de vazamento seja a menor possível.

### Formas de mitigação de formação de uma mistura explosiva

- Utilizar conexões brasadas;
- Utilizar tubulações de serviço seladas;
- Evitar vibrações excessivas;
- Evitar danos mecânicos no sistema de refrigeração;
- Aplicar boas práticas durante os procedimentos de montagem e testes de vazamento e de pressão, reduzindo a possibilidade de vazamento;
- Observar a localização e a compatibilidade dos componentes mecânicos e eletromecânicos com o fluido refrigerante selecionado;
- Manter a temperatura das superfícies o mais baixo possível, por exemplo, para o R-1234yf<sup>13</sup> a temperatura da superfície deve ser inferior a 405 °C, para o R-1234ze(E)<sup>14</sup>, 368 °C;
- Utilizar ventiladores/exaustores ou componentes do sistema aprovados para ambientes com atmosferas explosivas, se necessário;
- Redução da carga de fluido contida no sistema.

### Etiqueta e documentações

O sistema de refrigeração e seus principais componentes devem possuir identificação visível. Em equipamentos selados com carga de fluido refrigerante limitada, o condensador e o evaporador não necessitam de identificação. A placa de identificação deve ser legível e estar localizada no próprio sistema de refrigeração ou perto do mesmo.

Quando o fluido refrigerante for inflamável, deve ser utilizado o símbolo de chama de acordo com W021 da norma ISO 7010:2011, conforme Figura 06.

<sup>13</sup> <http://www.refrigerants.com/pdf/MSDS%201234yf.pdf>

<sup>14</sup> <http://www.nationalref.com/pdf/20%20SDSR1234ze.pdf>



Figura 06: símbolo de chama.

## 5 Normas

As normas, regulamentações e instruções técnicas possuem papel importante quando se opta por adotar um novo fluido refrigerante, principalmente em relação ao quesito segurança. A seguir são apresentadas as principais normas, além de uma orientação a respeito das instruções técnicas do Corpo de Bombeiros. Esta lista não é exaustiva e os responsáveis pelos equipamentos de refrigeração devem verificar a existência e validade das normas pertinentes às atividades a serem desempenhadas.

### Normas ABNT

- ABNT NBR 15976:2011 Redução das emissões de fluidos refrigerantes halogenados em equipamentos e instalações estacionárias de refrigeração e ar condicionado — Requisitos gerais e procedimentos;
- ABNT NBR 15960:2011 Fluidos refrigerantes — Recolhimento, reciclagem e regeneração (3R) — Procedimento;
- ABNT NBR ISO 11650:2008 Desempenho de equipamento de recolhimento e/ou reciclagem de fluidos refrigerantes;
- ABNT NBR 13598:2018 Vasos de pressão para refrigeração;
- ABNT NBR 16069:2018 Segurança em sistemas refrigerantes;
- ABNT NBR 15833:2018 - Manufatura reversa – Aparelhos de refrigeração;
- ABNT NBR 16666:2018 - Fluidos Refrigerantes;
- ABNT NBR 16667:2018 - Especificações para fluidos refrigerantes;
- ABNT IEC 60079 - Atmosferas explosivas.

### Normas Regulamentadoras (NR)

As Normas Regulamentadoras - NR, relativas à segurança e medicina do trabalho, são de observância obrigatória de todas as empresas que possuem

empregados regidos pela Consolidação das Leis do Trabalho - CLT. O não cumprimento das disposições legais e regulamentares sobre segurança e medicina do trabalho acarretará ao empregador a aplicação das penalidades previstas na legislação pertinente. Entre as NRs, destacam-se:

- NR 06 - Equipamentos de Proteção Individual;
- NR 10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade;
- NR 12 - Máquinas e Equipamentos;
- NR 13 - Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulações;
- NR 20 - Líquidos Combustíveis e Inflamáveis;
- NR 26 - Sinalização de Segurança.

### Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros

É recomendado que sejam avaliados os requisitos de segurança estabelecidos pelas Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros ao se utilizar fluidos inflamáveis. As instruções podem variar em cada estado e municípios.

### Normas Internacionais

- IEC 60335-2-24: Refrigeração doméstica;

- 
- IEC 60335-2-40: Ar condicionado e bombas de calor;
  - IEC 60355-2-89: Refrigeração comercial;
  - ISO 5149 e EN 378: abordam definições, classificação, critérios de seleção, projeto, construção, testes, identificação, documentação, local de instalação, operação, manutenção, reparo e recuperação.

## 6 Projetos de equipamentos

Os principais riscos decorrentes de aplicações de fluidos inflamáveis são danos à vida e ao patrimônio. Utilizar um fluido inflamável ou levemente inflamável, classificação acima de A2L, implica que o novo projeto ou o condicionamento do sistema seja compatível com o fluido frigorífico selecionado, tendo como limitante uma relação entre a carga de fluido e o tamanho do ambiente onde o equipamento será instalado.

Principais componentes que devem ser selecionados e/ou dimensionados:

- Compressor;
- Evaporador;
- Condensador;
- Sistema de expansão;
- Tubulações.

Requisitos de segurança adicionais devem ser incorporados ao equipamento. É comum a instalação de sensor (detector) de vazamento e de ventilação forçada. Recomenda-se que essas decisões, referentes à segurança, sejam baseadas em normas, nacionais ou internacionais, e avaliações de risco.

Conceitos importantes relacionados ao fluido frigorífico inflamável ou levemente inflamável:

- Substância inflamável: substância que é inflamável por si só ou que é capaz de produzir um gás, vapor ou névoa inflamável;
- Atmosfera Explosiva: mistura com ar, sob condições atmosféricas, de substâncias inflamáveis, na forma de gás, vapor, poeira, fibras, partículas combustíveis suspensas, que, após a ignição, permite autossustentação de propagação da chama<sup>15</sup>;
- Áreas classificadas: áreas em que uma atmosfera explosiva de gás está presente ou é esperado que esteja presente em quantidades tais que requeiram precauções especiais para a construção, instalação e utilização de equipamentos;
- Durante o projeto, é importante também levar em consideração que as consequências de um acidente causado pela inflamabilidade de um fluido dependem da carga do sistema, da velocidade de queima (propagação de chama), do calor gerado (energia da combustão) e dos subprodutos da combustão (produção de substâncias tóxicas)<sup>16</sup>.

### Cargas limites

A utilização de fluidos inflamáveis implica em limitações de carga e/ou espaço onde o equipamento deve ser instalado. Tomando como base a norma ISO 5149, são apresentados os seguintes valores:

- Até 150 g de fluido frigorífico inflamável: não há restrição de espaço para instalação<sup>17</sup>.
- Acima de 150 g devem ser considerados: categoria de ocupação, a classe de localização, a toxicidade e a inflamabilidade do fluido frigorífico.

<sup>15</sup>ABNT NBR IEC 60079-10-1, 3.1

<sup>16</sup><https://www.kth.se/en/itm/inst/energiteknik/forskning/ett/projekt/koldmedier-med-lag-gwp/low-gwp-news/nagot-om-koldmediers-brannbarhet-1.575938>

<sup>17</sup> Recentemente, de forma não definitiva, foi aprovado o incremento de carga para fluidos refrigerantes inflamáveis, no entanto, no boletim, foi mantido o valor de 150 g.

## Redução de carga de fluido frigorífico

Ao se converter e/ou projetar um equipamento para utilizar fluido frigorífico levemente inflamável, a utilização de ferramentas de modelagem e a seleção adequada de componentes é um recurso que pode auxiliar o processo de redução de carga de fluido frigorífico. Esse processo torna-se importante uma vez que durante o desenvolvimento de equipamentos, que operam com fluido refrigerante inflamável, a redução de carga incrementa significativamente a segurança e reduz os impactos gerados em caso de acidente<sup>18</sup>. A redução de carga de fluido do equipamento pode ser abordada de três formas: (1) redução da carga térmica necessária; (2) evitar o uso de sistemas com evaporador inundado; e (3) redimensionamento de componentes visando um menor volume do equipamento.

Entre os benefícios encontrados na possibilidade de redução da carga de fluido frigorífico, pode-se listar:

- Redução de custos com fluido frigorífico;
- Redução de custos de material;
- Menores restrições de espaço para instalar o equipamento;
- Maior nível segurança do equipamento;
- Possibilidade de aumentar eficiência do sistema.

---

<sup>18</sup> MMA. Orientações para uso seguro de fluidos frigoríficos hidrocarbonetos: um manual para engenheiros, técnicos, instrutores e formuladores de políticas – para uma refrigeração e climatização mais sustentável. Brasília: MMA, 2015. 344 p.

## 7 Fábrica

É fundamental destacar aspectos relacionados à fábrica que se destina a produção de equipamentos com HFO.

### Processos de montagem

O processo de montagem padrão de um equipamento pode ser dividido em duas etapas.

Primeira etapa: o sistema de refrigeração ainda não foi carregado com fluido refrigerante, portanto, não requer medidas de segurança adicionais. Esta etapa inclui:

- Montagem de componentes;
- Testes de resistência e estanqueidade;
- Evacuação.

Segunda etapa: o sistema já está carregado com fluido refrigerante, ou com resquícios de fluido refrigerante, havendo a necessidade de medidas de segurança adicionais. Esta etapa inclui:

- Carga do fluido refrigerante;
- Verificação de vazamento;
- Área de reparo;
- Teste de segurança elétrica;
- Teste de operação;
- Montagem final;
- Embalagem.

A Figura 07 destaca as etapas padrão do processo de fabricação de um equipamento de refrigeração, delimitando uma área de segurança, onde há presença de fluido inflamável.

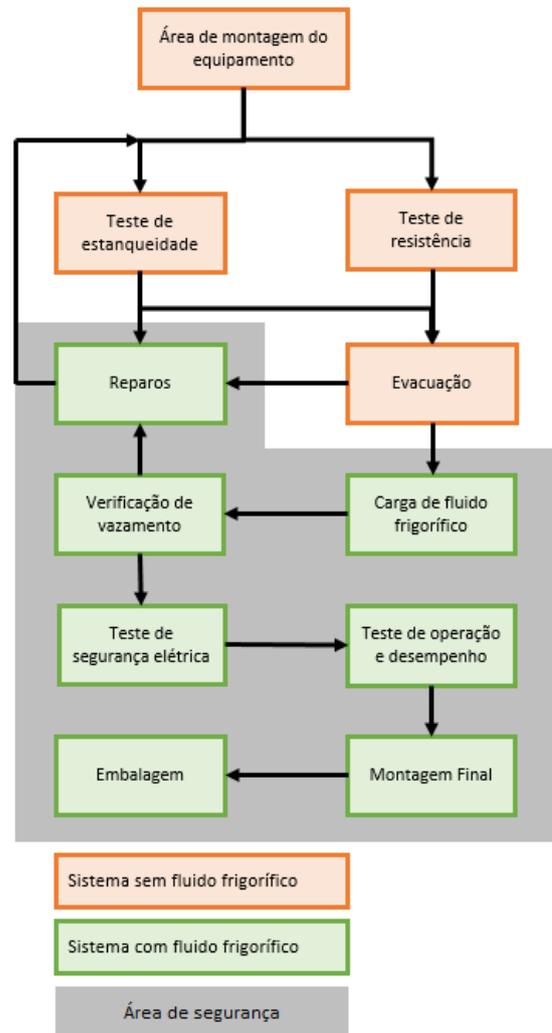


Figura 07: Processo de fabricação típico<sup>19</sup>.

### Armazenamento do fluido refrigerante

Por se tratar de um fluido inflamável, devem ser tomadas as seguintes precauções:

- Recipientes devem ser mantidos longe de fontes de calor e de ignição;
- Local deve ser ventilado, seco e protegido de luz solar direta;
- Os cilindros devem ser mantidos na posição vertical, fixados à parede, ou em outra estrutura sólida;

<sup>19</sup> MMA. Orientações para uso seguro de fluidos refrigerantes hidrocarbonetos: um manual para engenheiros, técnicos, instrutores e formuladores de políticas – para uma refrigeração e climatização mais sustentável. Brasília: MMA, 2015. 344 p.

- Sinalização de advertência e identificação do produto, extintores de incêndio e a Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ).

É recomendado que haja ao menos um detector de vazamento compatível com o fluido refrigerante utilizado.

Não deve haver ralos na área interna e próxima ao local de armazenamento.

#### Área de carga, verificação de vazamento e retrabalho

- Espaço com dimensões suficientes para abrigar os operadores, equipamento de refrigeração, ferramentas, máquinas e outros equipamentos necessários para a atividade;
- Ser limpo;
- Ter acesso restrito;
- Ventilação adequada;
- Área afastada de local onde há presença de fontes de calor e ignição;
- Sinalização;
- Piso com pintura tipo antiestática;
- Fontes de ignição devem ser mantidas a uma distância de segurança, de forma a evitar o contato com o fluido inflamável;
- Ter instalações elétricas compatíveis com a atividade;
- Possuir aterramento;
- Sistema de exaustão deve ser aquele classificado para operar com atmosferas explosivas (ATEX), com pontos de captação ao nível do solo e próximo ao local de carga;
- Sistema de detecção de vazamentos e alarme;
- Equipamentos de proteção individual e coletiva compatíveis;
- Programa de monitoramento e manutenção periódico;
- Deve haver treinamento de funcionários sobre boas práticas e riscos relacionados à segurança.

#### Área de testes e montagem final

As principais fontes de risco para gerar um vazamento são os choques mecânicos e a necessidade de substituição de um componente defeituoso, por isso, é recomendado a presença de sensores de vazamento e eventualmente um sistema de ventilação forçada neste ambiente.

#### Equipamentos e ferramentas

Todos os equipamentos devem ser compatíveis e aprovados para operar com o fluido selecionado.

- Bomba de vácuo;
- Balança e *Manifold*/Máquina de carga;
- Detector de vazamento;
- Ferramenta de selagem de tubo de processo;
- Equipamento de recolhimento.

## 8 Serviço em campo

Antes de abordar questões relacionadas ao serviço em campo, é importante destacar a importância de se manter a documentação no local de operação do equipamento, uma vez que muitas dessas informações serão fundamentais para auxiliar no serviço de campo.

### Documentação no local de operação

Deve ser disponibilizado no local onde o equipamento for instalado documentação contendo as seguintes informações:

- a) Nome, endereço e número de telefone do instalador, o departamento de serviços do instalador, o departamento de serviço da parte em questão ou, pelo menos, da pessoa responsável pelo sistema, e os endereços e os números de telefone do departamento de segurança/incêndio, polícia, corpo de bombeiros, hospitais e centros de queimaduras;
- b) Natureza do fluido refrigerante, indicando sua fórmula química e seu número de designação, conforme o Anexo B da norma ISO 5149-1;
- c) Instruções para desligar o sistema de refrigeração em caso de emergência;
- d) Pressão máxima permitida;
- e) Detalhes da inflamabilidade e/ou toxicidade do fluido refrigerante;
- f) Manual de instruções do equipamento, conforme norma ISO 5149-2;
- g) Projeto e diagramas do sistema;
- h) Livro de ocorrências quando a carga de fluido refrigerante for superior a 3 kg.

A execução dos serviços de campo requer cuidados adicionais, principalmente quando se utiliza um fluido refrigerante inflamável, ou levemente inflamável. Neste sentido, é importante que o responsável pela atividade tenha pleno conhecimento das atividades que irá executar e dos riscos envolvidos. Antes de iniciar o serviço em campo, seja uma instalação, uma manutenção ou uma desinstalação de um equipamento de refrigeração, é recomendado um planejamento das atividades que serão realizadas, além de conferir se o fluido que consta na identificação do sistema é realmente o fluido presente no sistema.

A seguir são apresentadas algumas recomendações para manter o ambiente seguro. Essa lista não é exaustiva, sendo responsabilidade da empresa desenvolver sua própria lista de planejamento e atividades a serem executadas.

### Planejamento das atividades

- Planejar a atividade que será executada;
- Verificar se todos os materiais para execução do serviço estão disponíveis;
- Verificar se as ferramentas adequadas para execução da atividade estão disponíveis;
- Verificar se os equipamentos de proteção individual e coletiva estão disponíveis;
- Conduzir uma análise de risco e determinar se o local onde se encontra instalado o equipamento é apropriado à atividade a ser realizada;
- Instalar sinalização e advertência (cones, cavaletes, fitas, placas, etiquetas e outros equipamentos de sinalização e de advertência);
- Possuir um extintor tipo ABC disponível;
- Possuir um plano de ação em caso de emergência;
- Trabalhar apenas com nitrogênio puro (sem oxigênio) durante o serviço;

- Utilizar apenas equipamentos/ferramentas apropriadas para o manuseio de fluidos frigoríficos inflamáveis.

#### Executar o serviço, seguindo as boas práticas e procedimentos de refrigeração

- Garantir que o local seja ventilado, caso necessário utilizar ventilação forçada;
- Garantir que não tenha fontes de ignição e manter equipamentos elétricos isolados da alimentação elétrica;
- Garantir que no local não seja armazenado nenhum material inflamável;
- Manter um detector de fluido frigorífico inflamável ligado por todo o tempo de trabalho;
- Manter local sinalizado e com acesso restrito às pessoas que estão executando a atividade (local temporalmente inflamável).

## 9 Planejamentos de custos

Com o intuito de auxiliar a empresa na tomada de decisão da seleção de uma alternativa, são sugeridas que as atividades de planejamento e conhecimento da tecnologia sejam realizadas antes de escolher a(s) alternativa(s). As soluções escolhidas e decisões tomadas nesse momento influenciam diretamente no tempo e na forma de execução da conversão. A lista de recomendações apresentada a seguir não é exaustiva, sendo de responsabilidade da empresa avaliar as alternativas disponíveis, selecionar o fluido alternativo e iniciar seu planejamento.

#### Avaliação das tecnologias disponíveis

- Buscar informações das tecnologias disponíveis;
- Buscar informações sobre mudanças que estão acontecendo no setor;
- Buscar informações sobre normas disponíveis;
- Buscar informações a respeito das propriedades de fluidos alternativos;
- Buscar informações sobre empresas que atuam no mesmo setor e que já se converteram.

#### Protótipos e equipamentos de refrigeração

- Verificar disponibilidade e custo do fluido frigorífico;
- Verificar disponibilidade e custo de componentes;
- Verificar custos para desenvolver o projeto de conversão dos equipamentos de refrigeração;
- Adquirir ferramentas básicas compatíveis com o fluido escolhido para carregar os protótipos;
- Adquirir os componentes necessários;
- Realizar ensaios de performance dos protótipos;
- Avaliar e testar a segurança do protótipo, com a coleta de dados e parâmetros para avaliação.

#### Produção dos equipamentos de refrigeração

- Realizar um estudo sobre a forma mais adequada para a carga do fluido alternativo:
  - Máquinas de carga de fluido aprovadas para fluidos inflamáveis;
  - Métodos padrão, utilizando *manifold* e balança;
  - Métodos de selagem do sistema após a carga.
- Avaliação do *layout* e projeto da área de carga:
  - Definir o local de armazenamento do fluido frigorífico, da área de carga e da área de reparo;

- Executar um projeto completo da instalação, contemplando o sistema elétrico, civil, de exaustão e avaliação de riscos. É recomendado um estudo para realização da classificação de risco do local, realizado por um profissional especializado.
- Carga de fluido:
  - Orçar e adquirir ferramentas e/ou máquinas compatíveis com fluidos inflamáveis;
  - Orçar e adquirir um sistema de exaustão;
  - Orçar e adquirir um sistema de sensores e alarmes;
  - Orçar custo da instalação dos equipamentos e ferramentas adquiridos e treinamento de operação;
  - Aquisição de ferramentas e equipamentos para serviço de campo.
- Intervenções e obras civis:
  - Adequação das instalações elétricas e aterramento;
  - Adequação do local de armazenamento de fluido;
  - Execução de obras civis;
  - Execução de pintura antiestática no piso;
  - Instalação da sinalização de segurança;
  - Adequação dos sistemas de proteção e combate a incêndio e liberação de operação pelo Corpo de Bombeiros;

#### Treinamentos e serviço

- Treinamento da equipe de manufatura: montagens e procedimentos;
- Treinamento da equipe de campo: manutenção e reparos;
- Campanha publicitária.

#### Equipamentos mínimos para área de carga

- Pacote de manuseio de fluidos frigoríficos:
  - Sistema de carga de fluido;
  - Detectores de vazamento;
  - Ferramenta de selagem de processo;
  - Unidade de recuperação de fluido.
- Medidas de segurança:
  - Sistema de ventilação;
  - Sensores e alarme de fluido frigorífico.

