



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

Workshop

Fluidos Refrigerantes Alternativos para
Equipamentos de Refrigeração Comercial

**PROPANO
R-290**

14 DE MARÇO 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 das atividades, cabendo a este buscar informações disponíveis, realizar treinamentos, adotar os procedimentos de segurança necessários e legais e usar 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 Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFC (PBH)

Camada de Ozônio

O ozônio (O₃) 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 fito plâncton, 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, Tetracloro 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).

Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFC (PBH)
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 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.

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 abaixo:

Etapa 1	2013	Congelamento do consumo dos HCFCs (Linha de Base ¹)
	2015	Redução de 16,6% do consumo de HCFCs sobre a LB
Etapa 2	2020	Redução de 39,3% do consumo de HCFCs sobre a LB
	2021	Redução de 51,6% do consumo de HCFCs sobre a LB
Etapa 3	2025	Redução de 67,5% do consumo de HCFCs sobre a LB
	2030	Redução de 97,5% do consumo de HCFCs sobre a LB ²
	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>

¹ Linha de Base (LB) correspondente à média do consumo de HCFCs para os anos de 2009 e 2010

² 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 2018².

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 e das agências implementadoras (PNUD, UNIDO e GIZ) nas ações previstas para auxiliar 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 refrige-

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

ração e ar condicionado cujo objetivo é promover a eliminação de 1.110,04 t SDO de HCFC-22 (61,06 t PDO) até 2021.

2 Objetivo

Este boletim tem por objetivo reunir informações básicas sobre o propano e a sua aplicação como fluido refrigerante. As informações que constam neste boletim visam auxiliar técnicos e engenheiros de refrigeração, bem como pessoas responsáveis pelo processo de tomada de decisão, para a conversão de equipamentos de refrigeração para o uso do propano (R-290) como fluido refrigerante.

Desta forma, este boletim contém informações a respeito do fluido natural propano (R-290) e das regulamentações existentes. Aborda 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, bem como a busca por outras informações disponíveis, bem como a realização de treinamentos adequados, a adoção dos procedimentos de segurança necessários e legais e o uso de ferramentas compatíveis com a alternativa selecionada.

² <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=16/02/2018&jornal=515&pagina=67&totalArqui vos=126>

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 20³. 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 William Cullen por volta de 1748, que utilizou éter como fluido refrigerante, uma vez que essa substância é capaz de absorver calor, vaporizar e criar gelo⁴.

Jacob Perkins, em 1834, foi o responsável pela primeira patente de um ciclo de refrigeração, utilizando o éter etílico³. 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 (NH₃), o dióxido de carbono (CO₂), 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

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 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.

³ <http://www.greatachievements.org/>

⁴ http://www.mma.gov.br/estruturas/ozonio/_publicacao/130_publicacao24082011121500.pdf

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 estas substâncias 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 Kigali⁵, em 2016. No Brasil, em um 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.

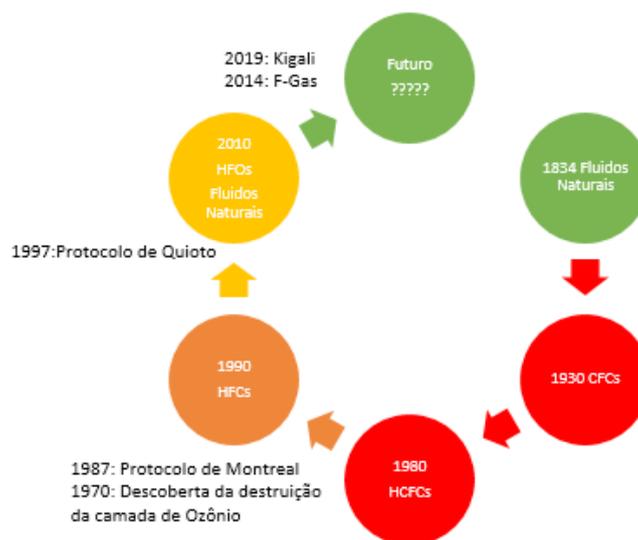


Figura 01: Breve história dos refrigerantes ao longo dos anos.

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).

⁵ 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 Emenda encontra-se no Congresso Nacional e uma vez aprovado será depositado na ONU e promulgado pelo Presidente da República.

Esse processo ocorre, usualmente, com mudança de fase⁶.

Alternativamente, nos anos 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 uma alternativa sustentável.

Além dos fluidos naturais, a indústria química tem se empenhado em desenvolver 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.

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.

⁶ ABNT NBR 16666:2018 - Fluidos frigoríficos — Designação e classificação de segurança

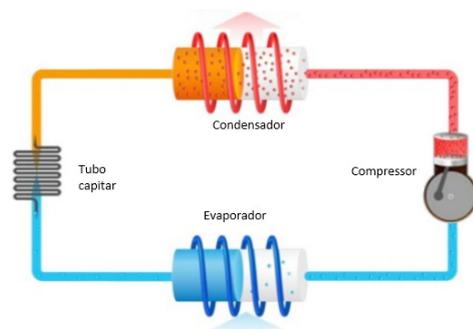


Figura 02: Sistema de refrigeração⁷

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

A seleção de um fluido refrigerante para determinado sistema de refrigeração ou de condicionamento de ar é uma das mais importantes etapas de um projeto. A substância a ser escolhida deve levar em consideração os custos envolvidos e 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 propriedades das alternativas disponíveis. Os critérios mais importantes para a seleção de uma tecnologia e fluido refrigerante são os seguintes ⁸:

- Disponibilidade;
- Custo/benefício;
- Ter propriedades termodinâmicas e de transferência de calor favoráveis;
- Ter 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);
- Toxicidade (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, Potencial de Destruição da Camada de Ozônio), e devem apresentar baixo potencial de aquecimento global (baixo GWP, da sigla em inglês, Global Warming Potential).

O Comitê de Opções Tecnológicas para Refrigeração, Ar Condicionado e Bombas de Calor - RTOC (UNEP, 2014⁹), do Protocolo de Montreal, adota a classificação apresentada na Tabela 1 como indicativa do potencial de aquecimento global dos fluidos refrigerantes.

GWP ¹⁰⁰	CLASSIFICAÇÃO
< 30	Ultra-baixo ou Desprezível
< 100	Muito baixo
< 300	Baixo
300–1.000	Médio
> 1.000	Alto
> 3.000	Muito alto
> 10.000	Ultra-alto

Tabela 1. Classificação dos níveis de GWP.

⁷ <https://news.samsung.com/br/tecnologia-twin-cooling-plus-maior-flexibilidade-de-uso-e-alimentos-frescos-por-mais-tempo>

⁸ 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>

⁹ UNEP (2014). 2014 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps. Technical Options Committee of Montreal Protocol. Nairobi, Kenya.

4 Propano (R-290)

O Propano é um hidrocarboneto obtido por intermédio do refino do petróleo ou de determinados processos de refino e reciclagem de gás natural.

O propano é utilizado como componente do GLP (conhecido como gás de cozinha), como gás combustível em equipamentos de corte, brasagem, soldagem, aquecedores, fornos e caldeiras e como fluido refrigerante em decorrência do programa de eliminação dos HCFCs e da previsão de redução do consumo de HFCs. Diversas empresas, localizadas principalmente na Europa, tem adotado o propano como fluido refrigerante, destacando mais especificamente as seguintes aplicações: expositores para supermercados, geladeiras e refrigeradores, resfriadores de bebidas, monobloco para câmaras frias, chillers (resfriadores de líquido) para refrigeração, condicionamento de ar e aquecimento, além de equipamentos de condicionamento de ar residencial tipo Split, janela e portátil.



Figura 03: molécula do propano (C₃H₈)¹⁰.

Principais vantagens do propano:

- Zero potencial de destruição da camada de ozônio (PDO=0);
- Potencial de aquecimento global desprezível (GWP=3);
- Características termodinâmicas que propiciam uma eficiência energética satisfatória, como elevada capacidade volumétrica e coeficiente de performance similar ao do HCFC-22;
- Ampla compatibilidade com diversos tipos de lubrificantes;
- Possibilidade de uso de óleo mineral;
- Baixos níveis de ruído;
- Reduzida pressão de trabalho;

- Apresenta consumo de energia similar à de outros sistemas de expansão direta;
- Reduzida temperatura de descarga, ocasionando maior vida útil do compressor;
- Normas internacionais em processo de revisão, com possibilidade de aumento da carga limite.

Principais desvantagens:

- Inflamável (Classe A3);
- Equipamento carregados com propano necessitam de cuidados especiais quanto à localização de componentes elétricos e de segurança.
- Requer maior capacitação dos técnicos responsáveis pela fabricação, instalação e manutenção;
- Necessidade de cuidados especiais para transporte e armazenamento do fluido e do produto abacado após a carga;
- Regulamentações normativas locais desatualizadas (ou sob revisão) ou disponíveis apenas em inglês;
- Local de manufatura requer cuidados especiais: sensores, alarmes, ferramentas e equipamentos a prova de explosão, treinamentos de segurança e de emergência;
- Limitação de carga por circuito;
- Pouca disponibilidade de técnicos capacitados.

Grupo de segurança do propano

A classificação de segurança do propano é A₃¹¹.

A letra maiúscula indica a toxicidade e o algarismo arábico denota a inflamabilidade.

Toxicidade:

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

Inflamabilidade:

- Classe 1: não propaga chamas;
- Classe 2: baixa inflamabilidade;
- Classe 3: altamente inflamável.

¹⁰<https://fineartamerica.com/featured/propane-molecule-.html>

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

Tabela 2 – Classificação de segurança de fluidos refrigerantes

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

Conforme o critério de classificação de segurança apresentado, o propano não é tóxico e possui alta inflamabilidade.

Informações Gerais

Identificação

- Número da ONU¹² : 1978¹³
- Classe de risco: 2.1 – gases inflamáveis
- Número de risco: 23
- Família química: Hidrocarboneto
- Fórmula molecular: C₃H₈

Aparência

- Gás comprimido liquefeito;
- Sem coloração;
- Inodoro;
- Pode ter odor de gambá devido ao odorizante adicionado ao gás.
- Líquido, flutua e ferve na água.
- Produz nuvem de vapor de água visível e inflamável.

Limites de inflamabilidade no ar

- Limite Superior: 9,5%
- Limite Inferior: 2,1%

Temperatura de ignição: 450 °C

Pressão de vapor¹⁴ : -42 °C

Massa molar¹⁵ : 44,1 g/mol

Ponto de fulgor: -156 °C

Risco ao fogo

- Ações a serem tomadas quando o produto entra em combustão: parar o fluxo de gás, se possível. Esfriar os recipientes expostos e proteger o homem contra os efeitos, com água.
- Comportamento do produto no fogo: os recipientes podem explodir. O vapor é mais pesado que o ar e pode se deslocar a uma distância considerável. Caso haja contato com uma fonte de ignição qualquer, poderá ocorrer o retrocesso da chama.

Toxicidade:

NR 15 -Anexo 11: Asfixiante simples (n-Propano).
Recomenda-se também ver limites de tolerância na ACGIH e NIOSH.

Limite inferior de inflamabilidade:

É a concentração mínima de um fluido refrigerante, capaz de propagar uma chama por meio de uma mistura homogênea desta substância e do ar, sob condições de ensaio especificadas. O limite inferior de inflamabilidade (LFL) do propano¹⁶ é 0,038 kg/m³.

Limite prático:

O limite prático de um fluido refrigerante é uma concentração utilizada para simplificar o cálculo para determinar a máxima quantidade aceitável de fluido refrigerante em um espaço ocupado¹⁷. O limite prático do propano é 0,008 kg/m³.

Grau de pureza:

Recomendações quanto ao grau de pureza devem ser verificadas junto aos fornecedores dos principais componentes do sistema de refrigeração. Em algumas aplicações, fabricantes de compressores recomendaram a utilização do propano com pureza maior ou igual a 99,5%, em massa.

¹²O número ONU é uma sequência numérica de quatro dígitos determinada pela Organização das Nações Unidas (ONU) para identificar produtos químicos e/ou produtos que oferecem perigo à vida. Este número fica na parte inferior do painel laranja (o painel de segurança). Pode ser definido como o RG de um produto perigoso.

¹³https://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=PROPANO

¹⁴Norma ISO 5149.

¹⁵Norma ISO 5149.

¹⁶Norma ISO 5149.

¹⁷Norma ISO 5149.

5 Normas

As Normas, Regulamentações e Instruções Técnicas possuem papel importante quando se opta por adotar um fluido refrigerante inflamável, principalmente em relação ao quesito segurança. A seguir são apresentadas as principais Normas Nacionais, Normas Regulamentadoras (NR) e Normas Regulamentadoras (NR) e Normas internacionais, 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 com fluidos inflamáveis 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 NBR IEC 60079-10-1:2018 –Classificação de áreas – Atmosferas explosivas de gás.

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 20 - Líquidos Combustíveis e Inflamáveis;
- NR 23 - Proteção Contra Incêndios;
- 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 60335-2-89: 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 implica que o novo projeto ou, o redimensionamento do sistema, seja compatível com o fluido refrigerante 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

¹⁸ ABNT NBR IEC 60079-10-1, 3.1

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.

Conceitos importantes relacionados ao fluido refrigerante 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 auto sustentação de propagação da chama.
- **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.

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 propano: não há restrição de espaço para instalação.
- Acima de 150 g devem ser considerados: categoria de ocupação, a classe de localização, a toxicidade e a inflamabilidade do fluido refrigerante.

Redução de carga de fluido refrigerante

Ao se converter e/ou projetar um equipamento para utilizar fluido refrigerante 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 refrigerante. Segundo o manual disponibilizado pelo Ministério do Meio Ambiente¹⁹, ao se converter um equipamento

carregado com HCFC-22 para o R-290, um ponto de partida para estimar a carga de R-290 do sistema é multiplicar a carga do HCFC-22 por 0,42. 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; (3) redimensionamento de componentes visando um menor volume do equipamento.

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

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

Formação de uma mistura explosiva

Os sistemas de refrigeração que utilizam fluidos refrigerantes 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, 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 necessário a existência de três elementos: um combustível, um comburente e uma fonte de ignição. Esta condição é denominada de triângulo do fogo (Figura 04).

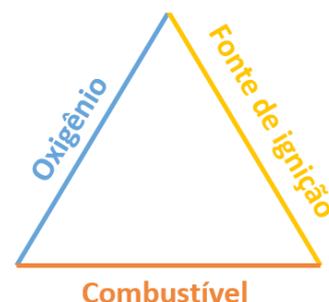


Figura 04 - Triângulo do fogo

Além disso, a mistura de oxigênio e combustível deve possuir uma determinada proporção, conforme apresentado na Figura 05. A eliminação de pelo menos um destes três elementos já é suficiente para impedir a formação do fogo.

¹⁹MMA. 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. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/publicacoes/clima/categoria/110-protecao-da-camada-de-ozonio.html> >.

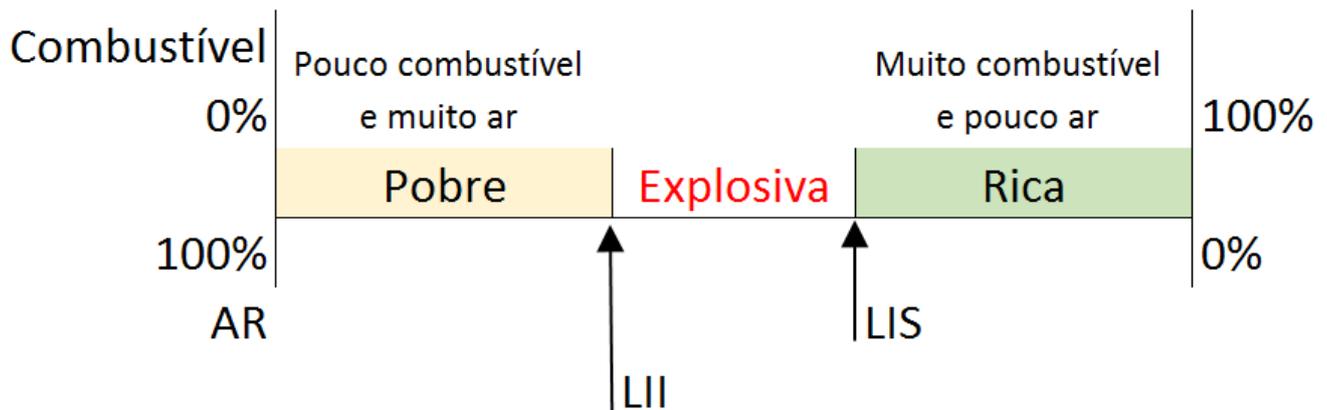


Figura 05 - Limite de Inflamabilidade

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;
- 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 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, reduzindo a

possibilidade de vazamento;

- Observar a localização e compatibilidade dos componentes elétricos com o fluido refrigerante selecionado;
- Manter superfícies com temperaturas inferiores a 350°C;
- Utilizar ventiladores/exaustores aprovados para ambientes com atmosferas explosivas.

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.



Figura 06: símbolo de chama.

7 Fábrica

É fundamental destacar aspectos relacionados à fábrica que se destina a produção de equipamentos com R-290.

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.

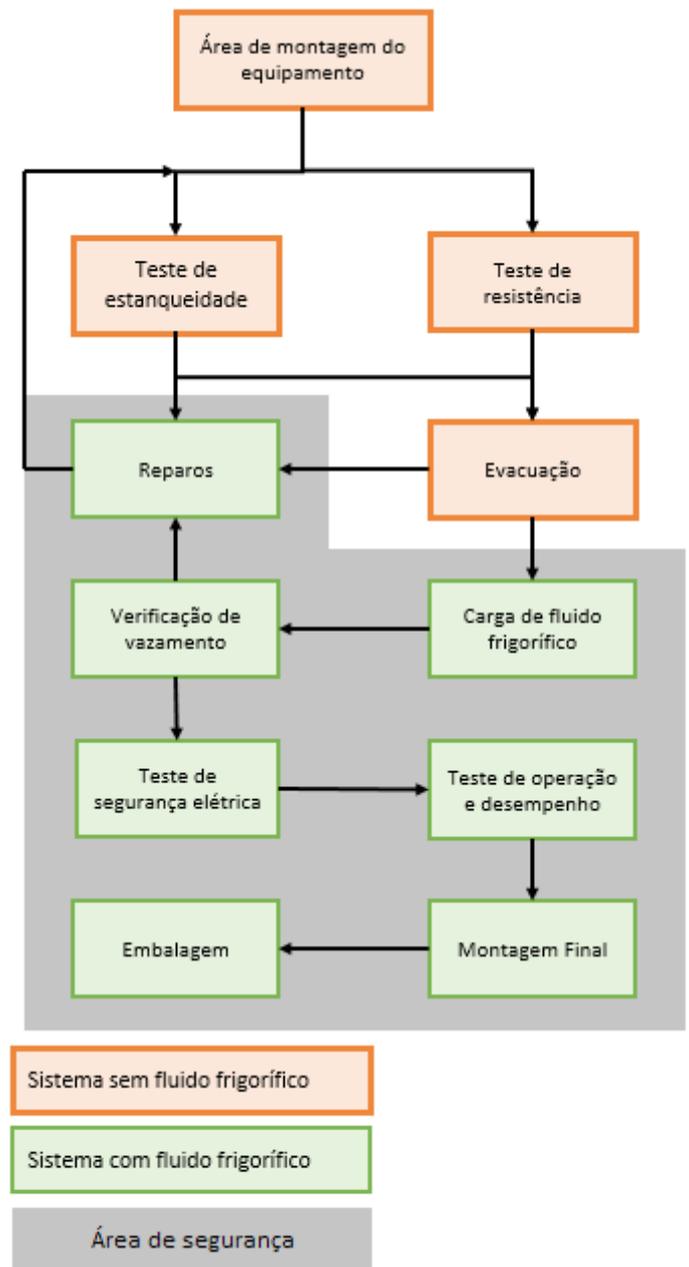


Figura 07: Processo de fabricação típico²⁰.

²⁰MMA. 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.

Armazenamento do propano

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;
- 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;
- Ter 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 com o fluido utilizado.

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

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 pela refrigeração sistema, e os endereços e os números de telefone do departamento de incêndio, polícia, hospitais e centros de queimaduras;
- b) Natureza do fluido frigorífico, 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 frigorífico;
- f) Manual de instruções do equipamento, conforme norma ISO 5149-2,
- g) Projeto e diagramas do sistema;
- h) Livro de ocorrências quando carga de fluido frigorífico for superior a 3 kg.

A execução dos serviços de campo requer cuidados adicionais, principalmente quando se utiliza um fluido frigorífico 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 temporariamente 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 realizados 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 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;
- Realizar testes 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:
 - o Máquinas de carga de fluido aprovadas para hidrocarbonetos;
 - o Métodos de selagem do sistema após carga.
- Avaliação do layout e projeto da área de carga:
 - o Definir do local de armazenamento do fluido frigorífico, da área de carga e da área de reparo;
 - o Executar um projeto completo da instalação, contemplando o sistema elétrico, civil, de exaustão e avaliação de riscos.
- Carga de fluido:
 - o Orçar e adquirir ferramentas e/ou máquinas compatíveis com fluidos inflamáveis;
 - o Orçar e adquirir um sistema de exaustão;
 - o Orçar e adquirir um sistema de sensores e alarmes;
 - o Orçar custo da instalação dos equipamentos e ferramentas adquiridos e treinamento de operação;
 - o Aquisição de ferramentas e equipamentos para serviço de campo.
- Intervenções e obras civis:
 - o Adequação das instalações elétricas e aterramento;
 - o Adequação do local de armazenamento de fluido;
 - o Execução de obras civis;
 - o Execução de pintura antiestática no piso;
 - o Instalação da sinalização de segurança;
 - o Adequação dos sistemas de proteção e combate a incêndio e liberação de operação do 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:
 - o Sistema de carga de fluido;
 - o Detectores de vazamento;
 - o Ferramenta de selagem de processo;
 - o Unidade de recuperação de fluido.
- Medidas de segurança:
 - o Sistema de ventilação;
 - o Sensores e alarme de fluido frigorífico.



ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS
PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

