

PROGRAMA BRASILEIRO DE ELIMINAÇÃO DOS HCFCs-PBH

# FLUIDOS FRIGORÍFICOS NATURAIS EM SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO COMERCIAL



PROGRAMA  
BRASILEIRO DE  
ELIMINAÇÃO DOS

**HCFCs**  
Projeto para o Setor de Serviços



# PROGRAMA BRASILEIRO DE ELIMINAÇÃO DOS HCFCs-PBH

Fluidos Frigoríficos Naturais  
em Sistemas de Refrigeração Comercial

Presidência da República  
Dilma Rousseff

Ministério do Meio Ambiente  
Izabella Teixeira

Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental  
Carlos Augusto Klink

Departamento de Mudanças Climáticas  
Adriano Santhiago de Oliveira

Gerência de Proteção da Camada de Ozônio  
Magna Ludovice

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE  
SECRETARIA DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E QUALIDADE AMBIENTAL  
DEPARTAMENTO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

# PROGRAMA BRASILEIRO DE ELIMINAÇÃO DOS HCFCs-PBH

Fluidos Frigoríficos Naturais  
em Sistemas de Refrigeração Comercial

MMA  
Brasília, 2015.



Coordenação  
Frank Amorim  
Stefanie von Heinemann

Autoria  
Alessandro da Silva

Revisão Técnica  
Gutenberg da Silva Pereira

Colaboração  
Gabriela Teixeira Rodrigues Lira  
Carlos Süffert

Fotografia  
Alessandro da Silva

Projeto Gráfico, Diagramação e Arte  
Leandro Celes

Revisão Ortográfica  
Sete Estrelas Comunicação

Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental  
Departamento de Mudanças Climáticas, Gerência de Proteção da Camada de Ozônio  
SEPN 505, Lote 2, Bloco B, Ed. Marie Prendi Cruz  
CEP: 70.730-542 Brasília-DF  
Telefone: (61) 2028-2248  
E-mail: ozonio@mma.gov.br

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH  
SCN Quadra 1, Bloco C, Sala 1501, Ed. Brasília Trade Center  
CEP: 70.711-902 Brasília-DF  
Telefone: (61) 2101-2170  
E-mail: giz-brasilien@giz.de

Catálogo na Fonte  
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

---

B823p Brasil. Ministério do Meio Ambiente.  
Programa Brasileiro de eliminação dos HCFCs-PBH: fluídos refrigerantes naturais em sistemas de refrigeração comercial / Alessandro da Silva. Brasília: MMA, 2015.  
200 p. ; Il. Color.

ISBN 978-85-7738-258-3

1. Refrigeração. 2. Fluídos refrigerantes. 3. HCFCs-PBH. 4. Camada de ozônio. 5. Protocolo de Montreal. I. Silva, Alessandro. II. Ministério do Meio Ambiente. III. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. IV. Departamento de Mudanças Climáticas. V. Título.

CDU(2.ed.)621.565

---

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Programa Brasileiro de eliminação dos HCFCs-PBH: fluídos refrigerantes naturais em sistemas de refrigeração comercial.** Brasília: MMA, 2015. 200 p.

ISBN 978-85-7738-258-3

# Índice

<b>PREFÁCIO</b>	<b>9</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>13</b>
1.1 Protocolo de Montreal	14
1.2 Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH)	15
1.3 Potencial de Destruição do Ozônio (PDO)	18
1.4 Potencial de Aquecimento Global (GWP)	19
1.5 Potencial de Aquecimento Equivalente Total (TEWI)	21
1.6 Visão Geral e Breve Histórico sobre o Desenvolvimento do Mercado de Refrigeração	22
<b>2 Normas Técnicas e Regulamentos Nacionais</b>	<b>29</b>
2.1 Norma ABNT NBR 16069:2010	31
2.2 Norma ABNT NBR 13598:2011	34
2.3 Norma ABNT NBR 15976:2011	35
2.4 Norma Regulamentadora NR13 do Ministério do Trabalho	36
<b>3 Fluidos Refrigerantes Naturais Aplicáveis em Sistemas de Refrigeração Comercial</b>	<b>41</b>
3.1 Disponibilidade e Comercialização dos Fluidos Refrigerantes Naturais no Brasil	44
3.2 Características dos Fluidos Refrigerantes Naturais	45
3.3 Propriedades Físicas dos Fluidos Refrigerantes Naturais	48
<b>4 Refrigeração Comercial</b>	<b>53</b>
4.1 Equipamentos e Sistemas Aplicados na Refrigeração Comercial em Supermercados	54
4.2 Dados dos Equipamentos e Características das Lojas de Supermercados	57
<b>5 Componentes do Sistema de Refrigeração com Fluidos Refrigerantes Naturais</b>	<b>67</b>
5.1 Componentes do Sistema Abordando Aspectos de Disponibilidade no Mercado Nacional e Internacional	69
5.2 Ferramentas e Equipamentos Específicos para a Utilização dos Fluidos Refrigerantes Naturais	73
5.3 Procedimentos e Cuidados Gerais nas Instalações dos Componentes	75



<b>6 Procedimentos de Instalação, Comissionamento, Manutenção e Operação</b>	<b>79</b>
6.1 Procedimentos e Principais Cuidados na Instalação dos Componentes dos Sistemas com Fluidos Naturais	80
6.2 Comissionamento da Instalação com Fluidos Naturais	85
6.3 Manutenção Preventiva na Instalação com Fluidos Naturais	89
6.4 Aspectos da Operação dos Sistemas com Fluidos Naturais	89
<b>7 Segurança dos Sistemas Aplicados aos Fluidos Frigoríficos Naturais</b>	<b>95</b>
7.1 Questões Gerais de Segurança	96
7.2 Equipamentos de Proteção Individual	97
7.3 Sensores de Detecção de Vazamentos	99
7.4 Riscos dos Sistemas de Refrigeração	101
7.5 Gestão Segura de Sistemas de Refrigeração	103
7.6 Procedimentos de Emergência	104
7.7 Avaliação de Risco	104
7.8 Capacitação e Treinamento de Trabalhadores	105
7.9 Comparação das Densidades dos Fluidos Frigoríficos Naturais	105
7.10 Classificação de Segurança dos Fluidos Frigoríficos	106
<b>8 Investimentos Iniciais e Custos Operacionais</b>	<b>111</b>
8.1 Panorama dos Investimentos Iniciais Necessários para a Utilização de Fluidos Naturais	112
8.2 Panorama dos Principais Custos Envolvidos na Utilização de Fluidos Naturais	112
8.3 Panorama dos Custos de Operação com base no Consumo Energético e os Custos de Manutenção de Curto e Médio Prazo	112
<b>9 Comparação Simulada de Sistemas com Fluidos Naturais Utilizados em Sistema Primário</b>	<b>117</b>
9.1 Descrição dos Sistemas Simulados	118
9.2 Dados de Entrada	121
9.3 Impacto Ambiental	122

<b>10 Estudos de Caso</b>	<b>125</b>
10.1 Estudo de Caso com CO <sub>2</sub>	126
10.2 Estudo de Caso de Fluidos Intermediários para Uso em Sistemas com Amônia	132
10.3 Estudo de caso com R290	140
<b>11 Resumo</b>	<b>149</b>
<b>12 Referências Bibliográficas</b>	<b>153</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>157</b>
ANEXO 1 – Evolução da Aplicação do CO <sub>2</sub> no Brasil	158
ANEXO 2 – Ciclos de Operação com CO <sub>2</sub> e suas Características	161
ANEXO 3 – Opções de Configuração de Sistemas de CO <sub>2</sub> em Cascata, Utilizados nos Supermercados Brasileiros	165
ANEXO 4 – Características Termodinâmicas e Termofísicas dos Fluidos Refrigerantes Naturais	171
ANEXO 5 – Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada	182





# PREFÁCIO

Em 2007, durante a comemoração dos 20 anos do Protocolo de Montreal e após o bem-sucedido processo de eliminação do consumo de CFCs (clorofluorcarbonos), os Estados Parte do Protocolo de Montreal decidiram, por meio da aprovação da Decisão XIX/6, antecipar o cronograma de eliminação do consumo de HCFCs (hidroclorofluorcarbonos).

Em relação ao cronograma de eliminação dos HCFCs para os países em desenvolvimento, a Etapa 1 define o congelamento do consumo em 2013, pela média registrada entre 2009 e 2010, e a redução de 10% do consumo em 2015. Já em 2020 e 2025, a redução do consumo deverá ser de 35% e 67,5%, respectivamente. Finalmente, em 2030, os consumidores terão que abrir mão de 97,5% do consumo de HCFCs, até a eliminação total em 2040.

A antecipação do cronograma de eliminação dos HCFCs trará enormes benefícios para a recomposição da camada de ozônio, objetivo do Protocolo de Montreal, e também para o sistema climático global, dado o acentuado Potencial de Aquecimento Global (GWP) dos HCFCs. Esta intenção está explícita na Decisão XIX/6, da 19ª Reunião das Partes do Protocolo de Montreal em 2007, quando em seu item 9 encoraja os Estados Parte a “*promover a seleção de alternativas aos HCFCs que minimizem os impactos ambientais, em particular os impactos ao clima, bem, como considerem os aspectos de saúde, segurança e viabilidade econômica*”. Já o item 11 desta Decisão orienta o Comitê Executivo, ao examinar o financiamento de projetos, a priorizar “*substitutos e alternativas que minimizem os impactos no meio ambiente, incluindo o clima, levando em consideração o impacto sobre o sistema climático global, consumo de energia e outros fatores relevantes*”.

Em resposta a esta decisão, o governo brasileiro coordenou a elaboração da Etapa 1 do Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH), entre os anos de 2009 e 2011, que foi aprovada em julho de 2011 pelo Comitê Executivo do Fundo Multilateral para a Implementação do Protocolo de Montreal, com um orçamento de US\$ 19.597.166,00. Com a aprovação da Etapa 1 do PBH, o Brasil se comprometeu em eliminar 16,6% do consumo de HCFCs até 2015.

Vale lembrar que a substituição dos HCFCs se dará com a introdução de outras substâncias alternativas. Caso o HCFC-22 venha a ser substituído predominantemente pelos hidrofluorcarbonos (HFCs), uma das alternativas mais consolidadas no mercado, parte dos ganhos previstos poderá ser anulada, já que algumas destas substâncias apresentam alto impacto para o sistema climático global.

Em relação aos sistemas de refrigeração e ar condicionado, a redução das emissões de gases estufa para a atmosfera certamente envolverá melhorias na contenção de vazamentos de fluidos frigoríficos sintéticos, assim como a utilização de fluidos frigoríficos alternativos com baixo potencial de impacto para o sistema climático global, que deverá se tornar mais comum para novos equipamentos e insta-



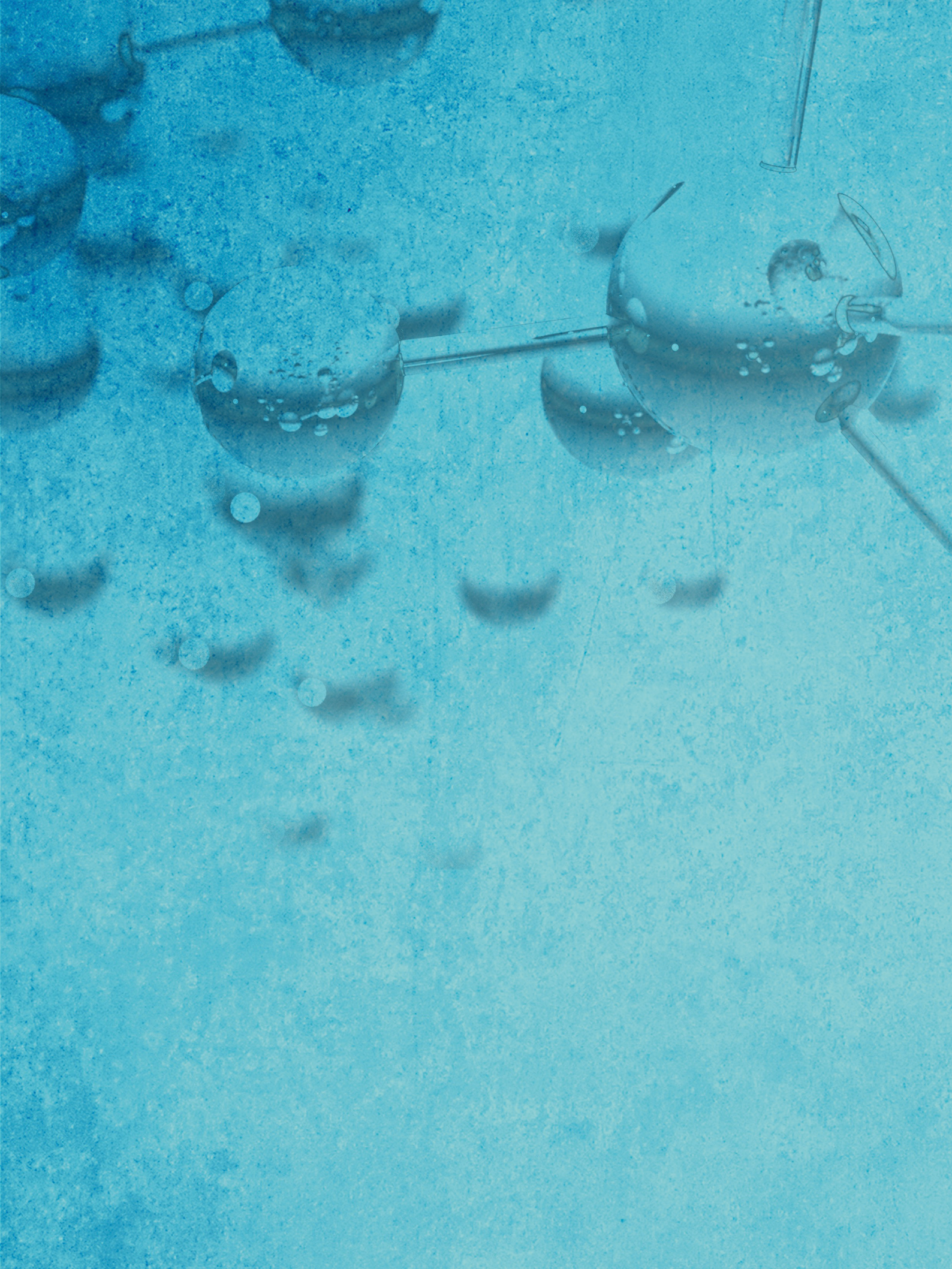
lações. Os campos de aplicação dos fluidos naturais<sup>1</sup>, tais como, amônia, hidrocarbonetos e dióxido de carbono, estão se tornando cada vez mais amplos, facilitando a utilização dessas substâncias. No entanto, devido às questões de inflamabilidade e toxicidade, a segurança é um fator fundamental no qual o usuário deverá estar atento.

A publicação deste material é essencial, uma vez que aponta aspectos relevantes da utilização dos fluidos naturais que deverão ser adotados em substituição aos HCFCs, contribuindo para os ganhos ensejados pela Decisão XIX/6 do Protocolo de Montreal, principalmente quanto à redução dos impactos no sistema climático global.

1 Os fluidos naturais são ecologicamente corretos, pois apresentam PDO igual à zero, baixo GWP e baixo TEWI (potencial de aquecimento equivalente total que considera as emissões diretas e indiretas de CO<sub>2</sub>).

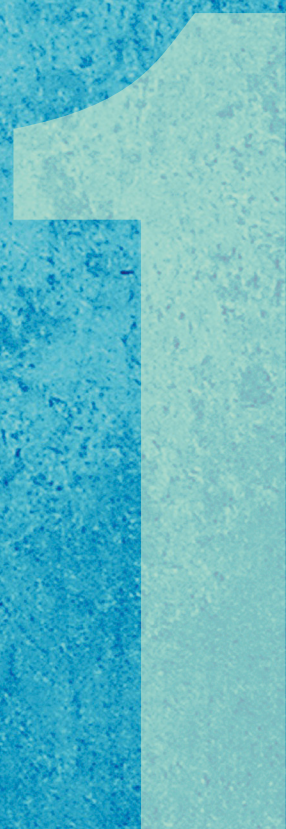








# Introdução





## 1.1 PROTOCOLO DE MONTREAL

O Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio é um tratado internacional que objetiva proteger a camada de ozônio por meio da eliminação da produção e consumo das Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (SDOs). Foi adotado em 1987 em resposta à destruição da camada de ozônio, que protege a Terra contra a radiação ultravioleta emitida pelo sol. O Brasil aderiu ao tratado em 1990, por meio do Decreto nº 99.280 de 06/06/90, comprometendo-se em eliminar os CFCs (clorofluorcarbonos) completamente até 2010 e outras SDOs.

Um importante aspecto do Protocolo de Montreal é permitir revisões sob a forma de emendas e ajustes ao texto original, mediante decisões das partes fundamentadas em recomendações dos painéis técnicos e científicos de avaliação e assessoramento. Enquanto as emendas precisam ser ratificadas, os ajustes entram em vigor a partir da decisão tomada pelos Estados Parte durante as Reuniões das Partes do Protocolo de Montreal. As emendas realizadas no âmbito do Protocolo de Montreal são destacadas a seguir:

- EMENDA DE LONDRES (1990) – Estabeleceu a completa eliminação dos CFCs, halons e tetracloreto de carbono até o ano 2000 para os países desenvolvidos e até 2010 para os países em desenvolvimento<sup>2</sup>. O metilclorofórmio foi inserido na lista de substâncias controladas pelo Protocolo de Montreal, com previsão de eliminação em 2005 para os países desenvolvidos e em 2015 para os países em desenvolvimento. Esta emenda instituiu o Fundo Multilateral para Implementação do Protocolo de Montreal (FML).
- EMENDA DE COPENHAGUE (1992) – Antecipou para 1996, em vez de 2004, o cronograma de eliminação das substâncias já controladas pelo Protocolo de Montreal (CFCs, halons, tetracloreto de carbono e metilclorofórmio). Além disso, o brometo de metila, os hidrobromofluorcarbonos e os hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) passaram a ser controlados pelo Protocolo de Montreal.
- EMENDA DE MONTREAL (1997) – Incluiu o cronograma de eliminação dos HCFCs para os países em desenvolvimento e o prazo de eliminação do brometo de metila para os países desenvolvidos e em desenvolvimento – 2005 e 2015, respectivamente.
- EMENDA DE PEQUIM (1999) – Incluiu controles mais severos sobre a produção e o comércio dos HCFCs. O bromoclorometano foi incluído como substância controlada pelo Protocolo de Montreal tendo eliminação estabelecida para 2004.

Também resultou das reuniões realizadas durante o Protocolo de Montreal a criação do “Dia Internacional de Proteção da Camada de Ozônio”, comemorado em 16 de setembro de cada ano, tendo sido aprovado por resolução da Assembleia Geral das Nações Unidas, em 1995.

2 Países pertencentes ao Artigo 5 do Protocolo de Montreal, cujo nível anual de consumo de substâncias controladas listadas no Anexo A seja inferior a 0,3 kg per capita, na data de entrada em vigor do Protocolo ou em qualquer data posterior no período de dez anos.



No Brasil, uma das primeiras ações para restrição do consumo das SDOs, antes mesmo da adesão do Brasil ao Protocolo de Montreal, foi a publicação da Portaria SNVS nº 01, de 10 de agosto de 1988, pela então Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária, mais tarde substituída pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). Esta portaria regulamentou as embalagens de aerossóis livres de CFC. No mesmo ano o Ministério da Saúde, por meio da Portaria nº 534, de 19 de setembro de 1988, proibiu o uso de CFCs na fabricação e comercialização de produtos cosméticos, higiene, perfumes e saneantes domésticos sob a forma de aerossóis.

Em 1991, após a adesão do Brasil ao Protocolo de Montreal, foi criado o Grupo de Trabalho do Ozônio, que estabeleceu diretrizes para eliminação dos CFCs e criou o Programa Brasileiro para Eliminação da Produção e Consumo das Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio (PBCO), em 1994, para eliminação gradativa do consumo das substâncias citadas no Anexo A e B do Protocolo de Montreal (CFCs, halons, CTC e metilclorofórmio).

Em 13 de dezembro de 1995 foi aprovada a Resolução CONAMA nº 13, que deu prioridade para a conversão tecnológica industrial na eliminação dos CFCs. Mais tarde esta resolução foi revogada e substituída pela Resolução CONAMA nº 267, de 14 de setembro de 2000, que proibiu definitivamente o uso de CFCs em novos produtos e equipamentos. Ainda em 1995 foi criado o Comitê Executivo Interministerial para a Proteção da Camada de Ozônio – PROZON, com o objetivo de propor políticas e diretrizes, orientar, harmonizar e coordenar ações relativas à proteção da camada de ozônio.

Para banir de vez o consumo de CFCs no Brasil, foi elaborado o Plano Nacional para Eliminação de CFCs (PNC) em 2002. A partir dessa época, o consumo de CFCs no Brasil caiu de aproximadamente 10 mil toneladas PDO (Potencial de Destruição do Ozônio), em 1995, para 480 toneladas, em 2006, representando uma redução de cerca de 90%, tendo sido totalmente eliminado em 2010. Com as ações adotadas pelos países no âmbito do Protocolo de Montreal, estima-se que, entre 2050 e 2075, a camada de ozônio sobre a Antártica retorne aos níveis que apresentava em 1980.

Além disso, estimativas apontam que, sem as medidas globais desencadeadas pelo Protocolo, a destruição da camada de ozônio teria crescido ao menos 50% no Hemisfério Norte e 70% no Hemisfério Sul, isto é, o dobro de raios ultravioleta alcançaria o norte da Terra e o quádruplo o sul. A quantidade de SDOs na atmosfera seria cerca de cinco vezes maior<sup>3</sup>.

## 1.2 PROGRAMA BRASILEIRO DE ELIMINAÇÃO DOS HCFCs (PBH)

Em 2007, o Protocolo de Montreal entrou em uma nova fase voltada para a eliminação da produção e consumo dos hidroclorofluorcarbonos - HCFCs, considerando que essas substâncias, além do Potencial de Destruição da Camada de Ozônio, possuem alto impacto sobre o sistema climático global.

3 <http://www.protocolodemontreal.org.br/eficiente/sites/protocolodemontreal.org.br/pt-br/site.php?secao=saladeimprensa>, acesso em 03/03/2015.

De acordo com a Decisão XIX/6 da 19ª Reunião das Partes do Protocolo de Montreal em 2007, todos os Estados Parte se comprometeram em cumprir um novo cronograma de eliminação dos HCFCs. No caso dos países em desenvolvimento, os prazos (regra geral) foram definidos conforme a Tabela 1.1:

**Tabela 1.1: Cronograma de eliminação do consumo de HCFCs.**

Ano	Ação
2013	Congelamento do consumo dos HCFCs (média do consumo de 2009 e 2010) – Linha de base
2015	Redução de 10,0% do consumo sobre a linha de base
2020	Redução de 35,0% do consumo sobre a linha de base
2025	Redução de 67,5% do consumo sobre a linha de base
2030	Redução de 97,5% do consumo sobre a linha de base
2040	Eliminação do consumo

Com a aprovação do novo cronograma acelerado de eliminação do consumo de HCFCs, a tendência é de que haja um maior estímulo na adoção de fluidos frigoríficos alternativos naturais, como amônia, CO<sub>2</sub> e hidrocarbonetos, que apesar de não afetarem o clima global, podem ser tóxicas, inflamáveis ou apresentarem altas pressões de trabalho. Neste sentido, torna-se necessária a adoção de medidas e normas de segurança para o manuseio seguro de tais fluidos frigoríficos.

## Estratégia de redução do consumo de HCFCs – Etapa 1 do PBH

Em 2009, o Seminário Nacional “Governos e Sociedade a caminho da eliminação dos HCFCs” marcou o início da elaboração do Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH), documento que define as diretrizes e ações a serem executadas no Brasil relacionadas ao cumprimento das metas de eliminação do consumo de HCFCs estabelecidas pelo Protocolo de Montreal até 2015.

Na Etapa 1 do PBH, aprovada em julho de 2011 pelo Comitê Executivo do Fundo Multilateral para a Implementação do Protocolo de Montreal, a estratégia de eliminação do consumo de HCFCs consta da realização de ações regulatórias, da execução de projetos de conversão de tecnologias para o setor de espuma de poliuretano e da execução de projetos de contenção de vazamentos para o setor de serviços<sup>4</sup>. Um resumo dos projetos que estão sendo executados nesta etapa é apresentado na Tabela 1.2.

4 Mais informações podem ser acessadas por meio do site [www.boaspraticasrefrigeracao.com.br](http://www.boaspraticasrefrigeracao.com.br).

**Tabela 1.2: Estratégia de Redução do Consumo de HCFCs – Etapa 1 do PBH.**

SUBSTÂNCIA	SETOR	APLICAÇÃO	Quantidade (toneladas métricas)	Quantidade (toneladas PDO*)
HCFC-141b	Manufatura PU**	Painéis Contínuos	294,1	32,4
		Pele Integral/Flexível Moldada	789,21	86,8
		PU Rígido	450,91	49,6
	<b>Subtotal</b>		<b>1.534,22</b>	<b>168,8</b>
HCFC-22	Ações Regulatórias	Refrigeração e Ar Condicionado	26,7	1,5
	Serviços	Refrigeração e Ar Condicionado	909,09	50
	<b>Subtotal</b>		<b>935,79</b>	<b>51,5</b>
<b>TOTAL</b>			<b>2.470,01</b>	<b>220,3</b>

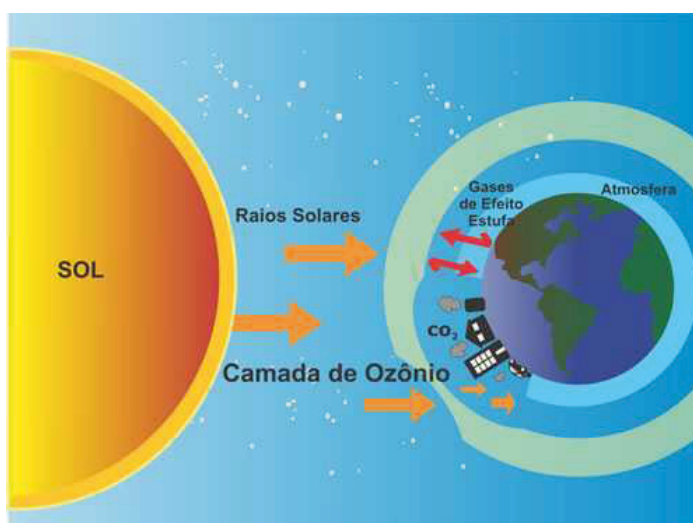
\*PDO = Potencial de Destruição do Ozônio

\*\*PU = poliuretano

Na Etapa 1 do PBH a redução do consumo de HCFCs será de 220,3 toneladas PDO (2.470,3 toneladas métricas), o que corresponde à eliminação de 16,6% do consumo até o final de 2015 em relação à linha de base, definida em 1327,3 toneladas PDO. Novas Etapas deverão ser propostas até a completa eliminação do consumo de HCFCs em 2040. As ações executadas afetarão diversos setores industriais, entre eles os de refrigeração e ar condicionado, espumas de poliuretano, solventes e extinção de incêndio.

O PBH foi construído de forma conjunta e participativa, por meio de um processo aberto, transparente e democrático, cuja participação de todos os setores envolvidos (governo, sociedade e iniciativa privada) foi crucial. Nesse processo democrático, o governo brasileiro tem procurado se reunir com o setor privado para discutir as novas estratégias a serem adotadas e as opções técnicas e econômicas em substituição aos HCFCs e tem também incentivado o uso de substâncias alternativas de baixo impacto para o sistema climático global. Além disso, tem firmado acordos de cooperação técnica importantes e promovido diversos seminários e workshops.

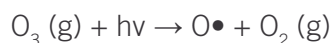
### 1.3 POTENCIAL DE DESTRUIÇÃO DO OZÔNIO (PDO)



**Figura 1.1 – Simplificação da camada de ozônio que protege a Terra.**

A camada de ozônio protege a Terra contra os efeitos nocivos da radiação solar, absorvendo os raios ultravioletas (UV) irradiados pelo Sol, que são prejudiciais aos animais e vegetais, pois podem causar danos à pele, como câncer; aos olhos, como a catarata; e também alterar o funcionamento celular das plantas. A camada de ozônio funciona como uma espécie de “protetor solar” natural, sem a qual não existiriam os seres vivos. Essa camada é composta pelo gás ozônio ( $O_3$ ), um gás rarefeito que reage facilmente com outros compostos químicos, principalmente com o cloro. Está localizada na camada atmosférica denominada estratosfera, a cerca de 20 a 35 quilômetros da superfície terrestre.

Quando os raios UV incidem sobre uma molécula de ozônio, ocorre uma liberação de energia capaz de romper as ligações entre os átomos, provocando a liberação de uma molécula de  $O_2$  e de um átomo de oxigênio livre. A equação abaixo representa o processo descrito:



Repare que o produto desta reação é uma molécula de  $O_2$  e o átomo de oxigênio livre que pode se ligar aos radicais, tais como: nitrogênio, hidrogênio, bromo ou cloro, que existem naturalmente na estratosfera.

Por outro lado existem os CFCs e HCFCs (clorofluorcarbonos e hidroclorofluorcarbonos), que são produzidos pelo homem e liberados na atmosfera. Quando emitidos, atravessam as camadas mais baixas da atmosfera e se acumulam nas camadas superiores da estratosfera. A radiação UV proveniente do Sol ocasiona a fotodecomposição das moléculas de CFCs e HCFCs, liberando o cloro que atua como catalisador na destruição da molécula de ozônio. Estudos confirmam que um único átomo de cloro é capaz de destruir até cem mil moléculas de ozônio.

Para medir o Potencial de Destruição do Ozônio (PDO) das Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio (SDOs), foi criado um índice tendo o CFC-11 como referência, cujo conteúdo de cloro é o maior entre todos os demais fluidos frigoríficos, o que lhe confere uma porcentagem de 100% (PDO = 1). Já o R22 possui um PDO = 0,05, ou seja, um potencial de destruição do ozônio de cerca de 5% quando comparado ao R11.

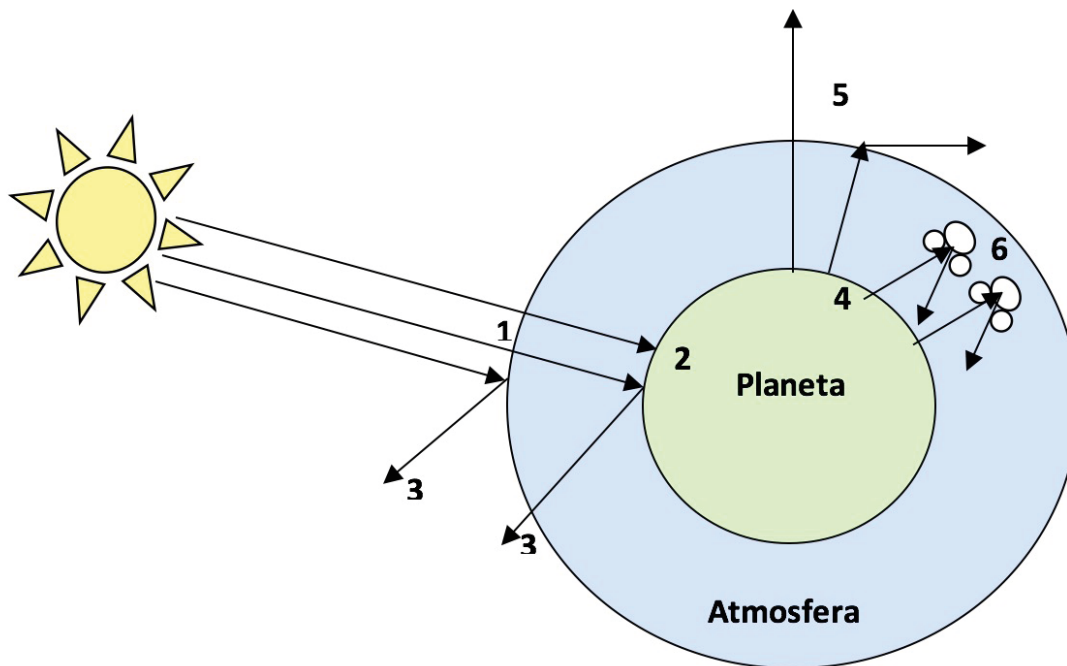
Os CFCs e HCFCs emitidos na atmosfera terrestre não são levados pela chuva, por serem muito estáveis, e é justamente essa propriedade que os tornam tão perigosos: eles atravessam a atmosfera intactos, acumulando-se na estratosfera, onde são responsáveis pela destruição do ozônio.

## 1.4 POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL (GWP)

Os gases de efeito estufa na camada superior da atmosfera retêm o calor e o re-irradiam causando aumento da temperatura global e o derretimento das calotas polares, o que resulta no aumento do nível dos oceanos. O  $\text{CO}_2$  (dióxido de carbono) é usado como uma referência para medir o aquecimento global de todos os outros gases, sendo seu valor de GWP igual a 1. Como exemplos de gases de efeito estufa existem o  $\text{N}_2\text{O}$  (óxido nitroso), o  $\text{CH}_4$  (metano), os CFCs (clorofluorcarbonos), os HCFCs (hidroclorofluorcarbonos) e os HFCs (hidrofluorcarbonos). Práticas de trabalhos inadequadas aplicadas a sistemas de refrigeração e ar condicionado contribuem para liberação de fluidos frigoríficos na atmosfera, tais como HFCs e HCFCs.

O efeito estufa é importante, pois sem ele a terra não estaria aquecida o bastante para que os seres humanos vivessem. Mas, se o efeito estufa fosse ainda maior, poderia aquecer a Terra além dos limites adequados para o equilíbrio da vida no planeta. O clima da Terra tem mudado constantemente ao longo da sua história de cinco bilhões de anos, resultado do aquecimento global. Cada uma das mudanças pode parecer extrema, mas geralmente tem ocorrido de forma lenta por milhares de anos. Na figura 1.2 aparece um exemplo simplificado do efeito estufa no planeta Terra.



**Figura 1.2 - Simplificação do Efeito Estufa (Aquecimento Global).**

1. A radiação solar penetra através da atmosfera.
2. Grande parte da radiação é absorvida pela superfície terrestre gerando aquecimento.
3. Parte da radiação solar é refletida pela Terra e atmosfera.
4. A radiação infravermelha é emitida da superfície terrestre.
5. Parte da radiação infravermelha passa através da atmosfera.
6. Parte é absorvida e reemitida em todas as direções pelas moléculas dos gases estufa. O resultado disso é o aquecimento da superfície terrestre e da atmosfera mais baixa, ocasionando o chamado “Efeito Estufa”.

O aquecimento global refere-se a uma média do aumento da temperatura da Terra, que causa, por sua vez, mudanças no clima. Um maior aquecimento da Terra pode gerar mudanças nos padrões de precipitações de chuva, ascensão do nível dos oceanos, impactos de larga escala nas plantas, nos animais e nos seres humanos. Quando cientistas falam sobre mudanças climáticas, eles estão preocupados com o aquecimento global causado pelas atividades humanas. A terra aqueceu aproximadamente 0,5 K ao longo dos últimos 100 anos e muitos cientistas afirmam que a temperatura da Terra poderá aumentar em média 4 K até 2100.

A emissão de SDOs para atmosfera influencia negativamente as mudanças climáticas globais. Os CFCs e alguns de seus substitutos HCFCs e HFCs estão listados entre os gases que mais contribuem para o aquecimento global. O Potencial de Aquecimento Global (GWP) é um índice que compara o efeito do aquecimento produzido pelos gases na atmosfera ao longo do tempo (normalmente 100 anos) em relação a quantidades semelhantes de CO<sub>2</sub> (em peso). Por exemplo, 1 kg de R404A liberado na atmosfera produz o mesmo efeito de aquecimento global equivalente a 3.780 Kg de CO<sub>2</sub>.

No contexto de reduções das emissões, a contenção de vazamentos de fluidos frigoríficos nos sistemas de refrigeração é vital e requer cuidado especial todas as vezes em que se realiza serviços de manutenção e reparo, devendo ser cada vez mais levada em consideração durante as fases de projeto, instalação, manutenção e descarte dos equipamentos de refrigeração. Neste segmento há uma grande necessidade de treinamento para todo o pessoal que manuseia fluidos frigoríficos.

## 1.5 POTENCIAL DE AQUECIMENTO EQUIVALENTE TOTAL (TEWI)

O Potencial de Aquecimento Equivalente Total (TEWI) leva em consideração os efeitos do aquecimento provocados pelas emissões diretas do fluido frigorífico na atmosfera e também os efeitos indiretos devido às emissões de CO<sub>2</sub> provenientes da geração de energia elétrica para manter o equipamento em operação durante toda a sua vida útil. Este último varia de acordo com a eficiência energética de cada equipamento.

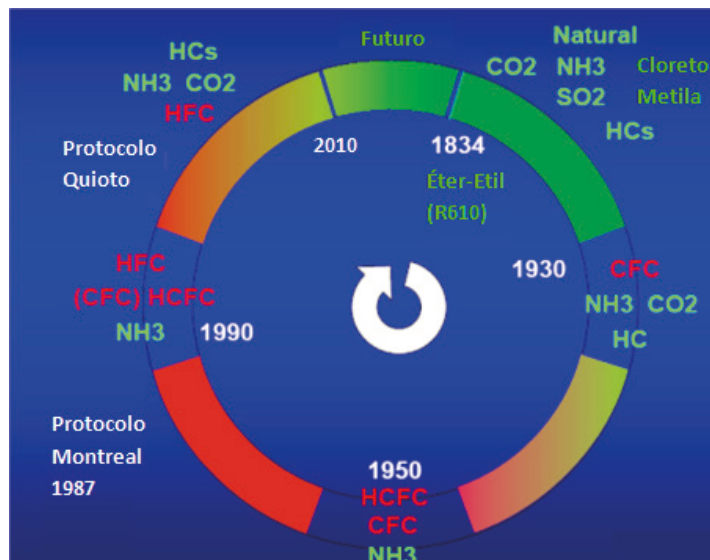
Para geração de energia elétrica, muitos países europeus e asiáticos, entre outros, utilizam alta porcentagem de combustíveis fósseis. A média europeia de emissão de CO<sub>2</sub> é de aproximadamente 0,6 Kg por kWh de energia elétrica. Em alguns setores o efeito do aquecimento global indireto é bem maior do que o efeito direto. O valor do TEWI varia em função da carga de fluido frigorífico, das taxas de vazamento, do tempo de funcionamento do equipamento e do consumo energético.

Normalmente, na refrigeração comercial, as emissões diretas representadas pelo vazamento de fluido frigorífico são maiores do que as emissões indiretas provocadas pelo consumo de energia, devido às elevadas taxas de vazamento que ocorrem nos sistemas de refrigeração, principalmente daqueles que apresentam várias ramificações. Normalmente, as taxas de vazamento de fluido frigorífico por loja de supermercados estão na faixa de 15% a 20% nos países do Artigo 2<sup>5</sup> e de 30% a 45% nos países do Artigo 5. Grande esforço mundial vem sendo tomado para reduzir os vazamentos de fluidos frigoríficos, e no caso do Brasil, desde 2011 está em vigor a norma ABNT NBR 15.976, que aborda a redução das emissões de fluidos halogenados em equipamentos e instalações estacionárias de refrigeração e ar condicionado, definindo requisitos gerais e procedimentos. As redes de supermercados brasileiras também estão investindo na manutenção preventiva para reduzir as taxas de vazamento nas lojas, que são bastante elevadas.

5 Países desenvolvidos no âmbito do Protocolo de Montreal.

## 1.6 VISÃO GERAL E BREVE HISTÓRICO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DO MERCADO DE REFRIGERAÇÃO

A figura 1.3 mostra um breve histórico dos fluidos frigoríficos ao longo dos anos, destacando principalmente o ressurgimento dos fluidos naturais nos dias atuais.



**Figura 1.3 - Breve histórico dos fluidos frigoríficos ao longo dos anos.**

A evolução histórica dos fluidos frigoríficos abrange basicamente quatro gerações, com base na definição de alguns critérios de seleção:

- 1834 a década de 1930 – o que quer que funcionasse: principalmente solventes familiares e outros líquidos voláteis, incluindo éteres, amônia (R717, NH<sub>3</sub>), dióxido de carbono (R744, CO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>, R764), cloreto de metila (R40), hidrocarbonetos, água (H<sub>2</sub>O, R718) e outros; muitos deles são agora considerados “fluidos frigoríficos naturais”.
- 1931 a década de 1990 – segurança e durabilidade: principalmente clorofluorcarbonos (CFCs), hidroclorofluorcarbonos (HCFCs), hidrofluorcarbonos (HFCs), amônia e água.
- 1991 a década de 2010 – proteção do ozônio estratosférico: principalmente HCFCs (para uso de transição), HFCs, amônia, água, hidrocarbonetos e dióxido de carbono.
- 2010 - ? – proteção do sistema climático global: inclusão dos fluidos com zero PDO, menor impacto para o sistema climático global e alta eficiência. Destacam-se principalmente os hidrofluorcarbonos insaturados (hidrofluorolefinas, HFOs), amônia, dióxido de carbono, hidrocarbonetos e água.

Antigamente o frio era produzido principalmente a partir da utilização de gelo ou neve, transportados de regiões frias. Outra possibilidade consistia no armazenamento de gelo obtido no inverno para uso

no verão. Em alguns locais, era também possível obter gelo durante noites frias para uso durante o dia. A figura 1.4, por exemplo, mostra um vaso grego do século VI A.C. utilizado para resfriamento de vinho, encontrado na cidade de Vulci, na Itália. Pode-se perceber que existem dois compartimentos, o interior onde era colocado o vinho e o exterior onde era colocado gelo ou neve.



**Figura 1.4 – Vaso grego para resfriamento de vinho.**

A comercialização de gelo em escala comercial deve-se a Frederic Tudor que, em 1806, iniciou a venda de gelo extraído do rio Hudson, nos Estados Unidos (figura 1.5). Um dos principais problemas daquela época era a inexistência de isolantes térmicos de qualidade, o que gerava perdas consideráveis e exigia que os depósitos fossem construídos com paredes de espessura da ordem de um metro.

O comércio de gelo natural se expandiu rapidamente. Em 1879 havia trinta e cinco operações comerciais nos Estados Unidos, duzentas uma década mais tarde e duas mil em 1909. Por volta de 1890, o uso de gelo natural começou a declinar devido à poluição das fontes de água. Isso facilitou a penetração, no mercado, de gelo produzido artificialmente. Entretanto, deve-se registrar que, no início do século XX, as 10 maiores empresas da bolsa de valores de Nova Iorque exploravam o gelo natural. O comércio de gelo natural ainda persistiu por um longo tempo após a introdução da refrigeração mecânica. A Inglaterra, por exemplo, só interrompeu a importação de gelo da Noruega por volta de 1930.



**Figura 1.5 – Colheita de gelo.**

## PRIMEIRA GERAÇÃO DE FLUIDOS FRIGORÍFICOS (1834-1930)

Durante os séculos XVIII e XIX, muitas pesquisas na área de refrigeração foram realizadas na Europa, especialmente na França e na Inglaterra. Naquela época a contribuição dos Estados Unidos não foi significativa, devido à abundância de gelo natural. Em 1755, Willian Cullen (1710-1790), professor da Universidade de Edimburgo, obteve gelo a partir da evaporação do éter. O processo de produção de frio era, entretanto, descontínuo e não foi usado para qualquer propósito prático.

A primeira descrição completa de um equipamento de refrigeração, operando de maneira cíclica e utilizando éter como fluido frigorífico, foi feita por Jacob Perkins (1766-1849), em 1834. O trabalho de Perkins despertou pouco interesse e permaneceu esquecido por aproximadamente 50 anos, até que Bramwell o descreveu num artigo publicado no Journal of the Royal Society of Arts. O principal responsável por tornar o princípio de refrigeração por compressão mecânica em um equipamento real foi James Harrison (1816-1893). Não se sabe se Harrison conhecia ou não o trabalho de Perkins, mas em 1856 e em 1857 ele obteve, respectivamente, as patentes britânicas 747 e 2362. Em 1862, durante uma exibição internacional em Londres, o equipamento de Harrison, fabricado por Daniel Siebe e utilizando éter como fluido frigorífico, foi apresentado à sociedade da época.

No início do século XX, os refrigeradores domésticos consistiam essencialmente de uma caixa, construída de madeira e isolada termicamente, onde eram colocados blocos de gelo (figura 1.6). Tal sistema apresentava as seguintes desvantagens:

- Necessidade de reposição do gelo;
- Necessidade de drenagem;
- Taxa de resfriamento variável.

A disponibilidade de unidades seladas de refrigeração logo se tornou uma realidade. Entretanto, todos os fluidos frigoríficos conhecidos, por volta de 1928, eram tóxicos, inflamáveis ou ambos. Devido ao elevado número de acidentes, alguns até fatais, jornais, como o The New York Times, faziam campanha para eliminar os refrigeradores domésticos que até então utilizavam o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) como fluido frigorífico. Nessa época 85% das famílias americanas que dispunham de eletricidade não possuíam refrigeradores domésticos.





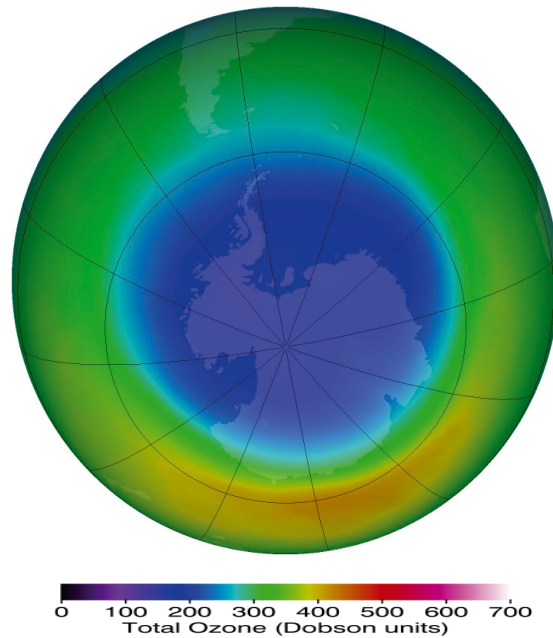
**Figura 1.6 – Geladeira doméstica.**

A aplicação do dióxido de carbono (R744 -  $\text{CO}_2$ ) como fluido frigorífico em sistemas de refrigeração foi iniciada no final do século 19. Ele foi usado em máquinas de gelo e nas embarcações para alimentos congelados. Seu uso nos sistemas de refrigeração cresceu na metade do século 20. O R744 era geralmente a escolha preferida para as embarcações, enquanto a R717 (amônia -  $\text{NH}_3$ ) era preferida para plantas de refrigeração industriais estacionárias. A aplicação do  $\text{CO}_2$ , como fluido frigorífico, teve seu pico de sua utilização entre 1920 e 1930. Entre 1950 e 1960, a tecnologia de refrigeração do  $\text{CO}_2$  praticamente desapareceu do mercado com o surgimento dos fluidos sintéticos.

## SEGUNDA GERAÇÃO DE FLUIDOS FRIGORÍFICOS (1931-1990)

Em 1928, a empresa norte americana Frigidaire encarregou um grupo de cientistas, liderados por Thomas Medley, a identificar um fluido que não fosse tóxico nem inflamável. Em menos de duas semanas, a família dos hidrocarbonetos halogenados, ou clorofluorcarbonos (CFCs), forneceu a solução para o problema. Tais substâncias já eram conhecidas como compostos químicos desde o século XIX, mas o seu uso como fluido frigorífico foi explorado, primeiramente, por Thomas Midgley. A descoberta não foi anunciada ao público devido à histeria contra os refrigeradores existentes na época. Após dois anos de testes, os CFCs foram apresentados ao público num encontro da Sociedade Americana de Química. A produção comercial de CFC-12 ( $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ) iniciou em 1931 e a do CFC-11 ( $\text{CCl}_3\text{F}$ ) em 1932. A introdução dos CFCs permitiu a disseminação dos refrigeradores domésticos.

Durante aproximadamente 70 anos, o CFC-12, como fluido frigorífico, e o CFC-11, como agente expander de espuma, reinaram absolutos nos segmentos de refrigeração doméstica e comercial leve. O reinado desses fluidos começou a declinar em 1974, quando o Prof. Sherwood Rowland, o Dr. Mario Molina e o Prof. Paul J. Crutzen associaram os CFCs à redução da camada de ozônio da estratosfera. A teoria foi comprovada em 1985, com a descoberta de um buraco na camada de ozônio sobre a Antártida (figura 1.7) e os cientistas foram contemplados com o prêmio Nobel de química em 1995.



**Figura 1.7 – Buraco na camada de ozônio sobre a Antártida (09/2006).**

Fonte: National Aeronautics and Space Administration (NASA) 2012.

### TERCEIRA GERAÇÃO: CAMADA DE OZÔNIO (1990-2010)

Como consequência do Protocolo de Montreal (1987), a maioria das aplicações domésticas e comerciais leves passou a adotar o HFC-134a como fluido refrigerante e o HCFC-141b como agente expander de espuma. As aplicações comerciais leves, que até então utilizavam o HCFC-22 ou o R502, passaram a fazer uso do R404A, uma mistura azeotrópica dos seguintes fluidos refrigerantes: (44% HCFC-125 + 52% HCFC-143a + 4% HFC-134a). Na refrigeração comercial de supermercados o fluido predominante era o R22, porém muitos sistemas passaram a utilizar outros fluidos alternativos como o R404A e até mesmo o CO<sub>2</sub> como fluido refrigerante. Na refrigeração industrial a amônia sempre foi o fluido refrigerante predominante nesse mercado.

### QUARTA GERAÇÃO: EFEITO ESTUFA (2010 - ?)

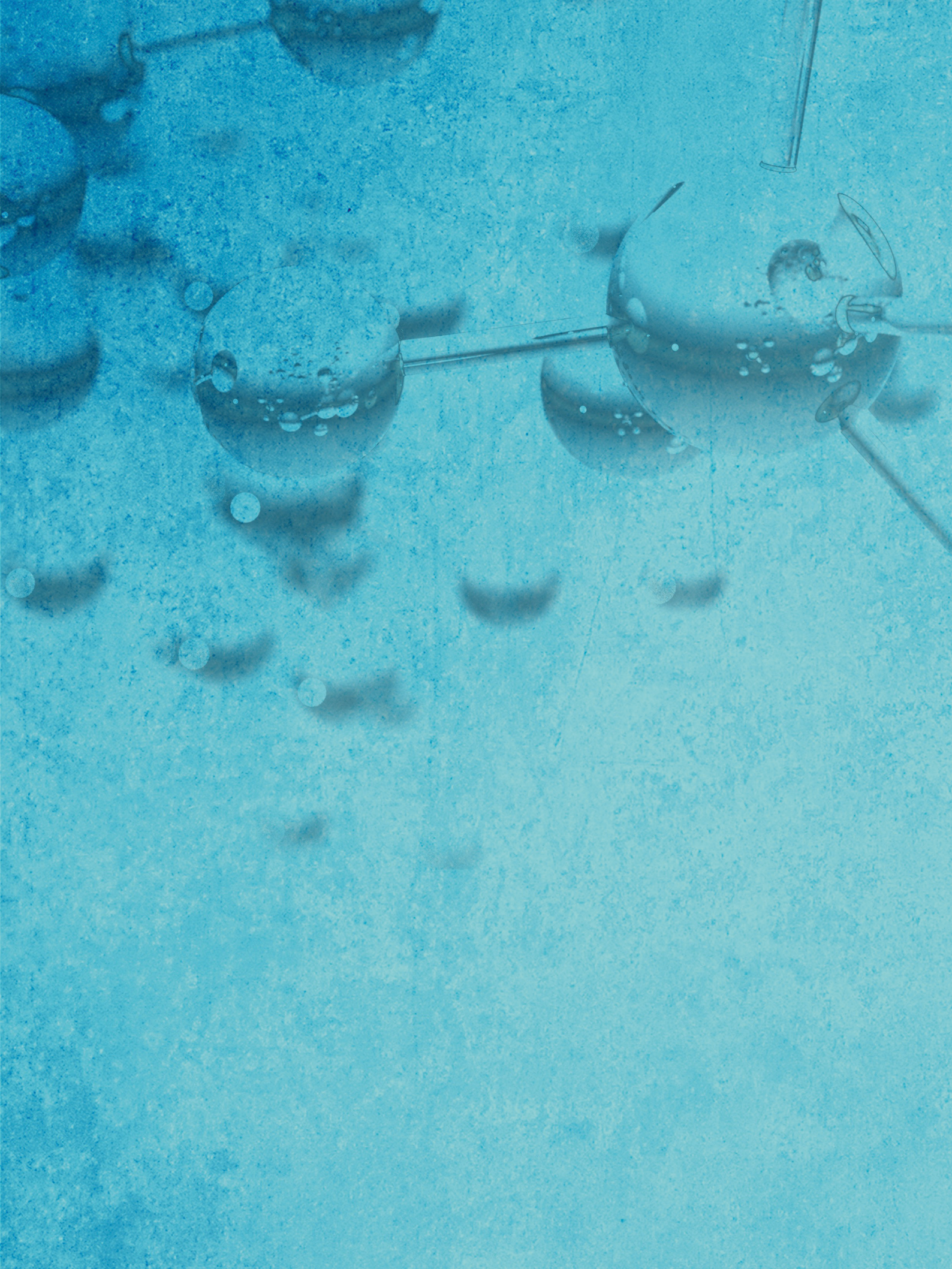
Os países desenvolvidos eliminaram os CFCs em 1996, enquanto os países em desenvolvimento eliminaram em 2010. A eliminação dos HCFCs está em andamento, com uma eliminação gradual até 2020 e 2040, respectivamente, para os países desenvolvidos (eliminação de 99,5% do consumo) e em desenvolvimento. Alguns países criaram legislações próprias para acelerar a eliminação dos HCFCs. Na União Europeia, por exemplo, os HCFCs estão proibidos em todos os novos sistemas desde o início de 2004, e os compostos químicos à base de flúor, entre os quais se destacam os HFCs com GWP maior que 150, estão proibidos para sistemas de ar condicionado automotivo desde 2011.

Atendendo às restrições estabelecidas pelo Protocolo de Quioto, o Japão se comprometeu a reduzir a emissão dos gases de efeito estufa em 25% até 2020, com base nos valores de 1990. Na União Europeia a proposta é de uma redução de 20% a 30% até 2020, também com base nos valores de 1990. A Noruega se propõe a reduzir as suas emissões em 30% até 2020, também em relação a 1990. A Nova Zelândia e a Rússia se propõem, respectivamente, a reduzir as suas emissões entre 10% a 20% e 10% a 15%, também em relação a 1990. No Canadá a proposta é de uma redução de 20%, mas em relação ao ano de 2006. Nos Estados Unidos um projeto aprovado pela Câmara dos deputados e que aguarda aprovação pelo Senado, propõe uma redução de 27% até 2020, com base nos valores de 2005.

No caso do Brasil, a Política Nacional sobre Mudança do Clima, instituída por meio da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, oficializa o compromisso voluntário do Brasil junto à Convenção-Quadro da ONU sobre Mudança do Clima de redução das emissões de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020 com base nos valores de 2010, obtidos por meio do Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal.

Como os HFCs fazem parte das substâncias controladas pelo Protocolo de Quioto é de se esperar que tais fluidos frigoríficos desapareçam gradualmente do mercado, abrindo oportunidades para os fluidos naturais, tais como: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ) e hidrocarbonetos (HCs).







# Normas Técnicas e Regulamentos Nacionais





A Resolução **CONAMA Nº 267/2000** dispõe sobre a proibição no Brasil da utilização das substâncias controladas especificadas nos Anexos A e B do Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio. Esta norma restringe a importação de SDOs, estabelece os prazos e limites para importações, entre outras providências. Já a Resolução **CONAMA nº 340/2003** dispõe sobre a utilização de cilindros para o processo de coleta e armazenamento das substâncias que destroem a camada de ozônio, proibindo o uso de cilindros pressurizados descartáveis que não estejam em conformidade com as especificações desta Resolução, bem como de quaisquer outros vasilhames utilizados indevidamente como recipientes para o acondicionamento, armazenamento, transporte, recolhimento e comercialização das SDOs.

Seguem abaixo algumas normas de segurança que podem ser utilizadas no projeto, operação e manutenção dos equipamentos de refrigeração com fluidos naturais.

### **Normas Brasileiras:**

- ABNT NBR 16069:2010 – Segurança em sistemas frigoríficos. Esta norma é baseada no ANSI/ASHRAE Standard 15-2007;
- ABNT NBR 13598:2011 – Vasos de Pressão para Refrigeração;
- ABNT NBR 15976:2011 – Redução das emissões de fluidos frigoríficos halogenados em equipamentos e instalações estacionárias de refrigeração e ar condicionado – Requisitos Gerais e Procedimentos;
- NR-13 – Caldeiras e Vasos de Pressão, do Ministério do Trabalho. Norma regulamentadora relativa à segurança e medicina no trabalho, conforme Lei nº 6514, de 22 de dezembro de 1977, que altera o Capítulo V do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho;
- P4.261 – Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos, da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, de 13/08/2003.

### **Normas 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 – 2012: Refrigerating systems and heat pumps - Safety and environmental requirements – European Committee for Standardization:
  - 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 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 VIII – Div. 1 – Rules for Construction of Pressure Vessels – 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.

## 2.1 NORMA ABNT NBR 16069:2010

As boas práticas sobre os cuidados a serem desenvolvidos e aplicados em sistemas de refrigeração com fluidos frigoríficos naturais no Brasil baseiam-se em documentação internacional proveniente de normas americanas e europeias. A Comissão de Estudos de Refrigeração Industrial – **CE-55:001.04**, no âmbito do **CB-55 (Comitê Brasileiro de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento)** da ABNT, desenvolveu a norma **ABNT NBR 16069:2010** que trata de segurança em sistemas de refrigeração. Esta norma é baseada na **ANSI/ASHRAE Standard 15-2007**, mas utiliza outras normas como referência. É dirigida à segurança de pessoas e de propriedades no local ou na vizinhança em que haja uma planta de refrigeração. O objetivo da norma é promover a segurança no projeto, na construção, na instalação e operação de sistemas frigoríficos. A norma estabelece regras de proteção contra acidentes fatais ou não, com prejuízo à saúde humana e à propriedade, define práticas consistentes com a segurança e prescreve procedimentos de segurança. No entanto, esta norma não aborda o efeito da emissão de fluidos frigoríficos sobre o meio ambiente.

A norma **ABNT NBR 16069:2010** se aplica à:

- Construção, projeto, ensaio, instalação, operação e inspeção de sistemas frigoríficos mecânicos e por absorção, incluindo sistemas utilizados como bomba de calor;
- Modificação do sistema frigorífico, incluindo a substituição de peças ou componentes, se eles não forem idênticos em função e capacidade;
- Substituição do tipo de fluido frigorífico que tenha denominação diferente.

Referente ao projeto e a fabricação de equipamentos e sistemas, a norma ABNT NBR 16069:2010 define que as pressões de projeto não deverão ser inferiores às pressões máximas de operação ou às pressões que possam ocorrer durante paradas do sistema ou no transporte de componente ou do equipamento. Com relação à definição da pressão de projeto, a norma estabelece que deverão ser levadas em consideração as pressões de ajuste dos dispositivos de controle e de alívio de pressão, a fim de evitar paradas inconvenientes e a perda de fluido frigorífico.

De acordo com a norma, todos os componentes de um sistema frigorífico submetidos à pressão que não sejam vasos de pressão, tubulações, manômetros ou mecanismos de controle, deverão ser certificados, seja individualmente, como parte de um sistema completo de refrigeração, ou como um subconjunto, por um laboratório aprovado de ensaios, reconhecido nacionalmente, ou ainda deverão ser projetados, construídos e montados de forma a apresentar resistência suficiente para suportar uma pressão 3 vezes maior que a do projeto para a qual foram especificados. Além disso, todos os sistemas deverão prever o manuseio seguro da carga de fluido para efeito de manutenção. Para tanto, pode ser necessária a utilização de válvulas de bloqueio adequadamente localizadas, válvulas de transferência de líquido, depósito para armazenamento de fluido frigorífico e adequada exaustão do fluido (“venting”). As válvulas de bloqueio deverão ser adequadamente etiquetadas se os componentes a montante e a jusante da válvula não forem visíveis a partir do local da válvula. Etiquetar a tubulação adjacente à válvula é suficiente para satisfazer estas exigências e deve ser realizada de acordo com a norma ANSI A13.122 ou outras instruções aceitas pela indústria. As válvulas podem ser etiquetadas com números, desde que um código para identificação esteja localizado nas proximidades da válvula e apresentem caracteres de, pelo menos, 12,7 mm de altura.

É muito importante que cada sistema tenha uma placa de identificação, pois segundo a norma, cada sistema unitário e cada unidade condensadora separada (compressor ou unidade compressora), comercializados para incorporação a um sistema frigorífico, cuja montagem é realizada em campo, devem ter afixadas placas de identificação contendo o nome do fabricante (marca registrada ou nome comercial), o número de identificação, a pressão de projeto e o fluido frigorífico para a qual foram projetados.

O fluido frigorífico deve ser designado pelo número do fluido (R-número) como indicado na norma ANSI/ASHRAE 34-2010. As partes contendo fluido de sistemas instalados em edifícios, exceto compressores, condensadores, evaporadores, dispositivos de segurança, manômetros, mecanismos de

controle e sistemas testados de fábrica, deverão ser ensaiadas e sua estanqueidade comprovada depois de concluída a instalação e antes da sua entrada em operação. Os lados de alta e baixa pressão de cada sistema deverão ser testados e comprovados sua estanqueidade a pressões não inferiores à pressão de projeto ou à pressão de ajuste do dispositivo de alívio.

A norma informa que os fluidos frigoríficos podem ser introduzidos em um sistema de diversas maneiras, dependendo, principalmente, da fonte de suprimento. O fluido pode, por exemplo, ser carregado pelo lado de baixa pressão do sistema ou em qualquer ponto a jusante da válvula de bloqueio principal da linha de líquido, quando esta estiver fechada. Quando fornecido por um depósito com bomba, a carga é normalmente realizada pelo tanque de líquido principal de alta pressão. Nenhum cilindro de serviço deverá ser mantido interligado ao sistema, exceto durante a carga ou descarga do fluido.

Os fluidos retirados de sistemas frigoríficos devem ser transferidos somente para cilindros de serviços aprovados. Os fluidos não deverão ser liberados para a atmosfera ou para locais como esgotos, rios, córregos, lagoas, etc., exceto nos casos em que forem descarregados através de dispositivos de alívio, plugues fusíveis ou em fugas resultantes de vazamentos, purga de não condensáveis, drenagem de óleo e outros procedimentos rotineiros de operação e manutenção. Os cilindros usados para a remoção de fluidos de um sistema frigorífico devem ser cuidadosamente pesados cada vez que forem usados para este propósito e não devem ser carregados acima do peso limite estabelecido para o cilindro e para o fluido em questão. O fluido armazenado em uma casa de máquinas não deve ultrapassar o peso de 150 kg além da carga do sistema frigorífico e do fluido armazenado em um depósito permanente. O armazenamento deve ser feito somente em depósitos aprovados.

A norma recomenda que seja obrigação do encarregado do edifício que opera sistemas frigoríficos com mais de 25 kg de fluido providenciar um diagrama esquemático ou um painel com instruções de operação do sistema, afixado num local que seja conveniente para o operador do equipamento. Procedimentos de paradas de emergência, incluindo as precauções a serem seguidas em caso de quebra ou vazamento, deverão ser expostos, bem visíveis, numa etiqueta em local próximo do equipamento frigorífico. Tais precauções devem ter em vista:

- a. Instruções para paradas do sistema em casos de emergência;
- b. Nome, endereço e telefones, diurno e noturno, para obtenção de serviço de manutenção;
- c. Nome, endereço e telefone do Departamento Municipal de Inspeção com jurisdição, juntamente com instruções para que ele seja notificado imediatamente em caso de emergência.

Quando a casa de máquinas estiver em uso, os procedimentos de emergência deverão ser afixados no exterior, em parede adjacente a cada porta.

## 2.2 NORMA ABNT NBR 13598:2011

A norma **ABNT NBR 13598:2011** trata de vasos de pressão para refrigeração e estabelece um conjunto de recomendações e requisitos mínimos a serem utilizados na fabricação de vasos de pressão para uso em refrigeração. De acordo com o item 3.52 dessa norma, vaso ou recipiente de pressão é qualquer parte de um sistema que contém fluido frigorífico, com exceção de:

- Compressores;
- Bombas;
- Componentes dos sistemas de absorção herméticos;
- Evaporadores, desde que qualquer das suas seções, separadamente, não exceda 15 litros de capacidade de fluido frigorífico;
- Serpentinhas e baterias;
- Tubulações e respectivas válvulas, juntas e acessórios;
- Dispositivos de controle.

Segundo essa norma, o projeto e fabricação dos vasos de pressão com diâmetro, largura, altura ou diagonal da seção transversal, cujas dimensões não excedam 160 mm, sem limitação no comprimento, devem:

- a. ser certificados individualmente ou como parte de um conjunto por um laboratório de ensaios e testes aprovado e reconhecido nacionalmente; ou
- b. atender às exigências de projeto, fabricação, ensaios e testes do ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII ou norma internacionalmente reconhecida.

Vasos de pressão com dimensões internas de até 160 mm devem ser protegidos por um dispositivo de alívio de pressão ou plugue-fusível.

Vasos de pressão com diâmetro interno superior a 160 mm, com pressão manométrica de projeto, interna ou externa, superior a 100 kPa, devem:

- a. Atender às exigências de projeto, fabricação, ensaios e testes do ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII;
- b. Atender às exigências de projeto, fabricação, ensaios e testes de norma internacionalmente reconhecida, comprovado por documentação disposta pelo fabricante, quando o vaso for fabricado em outro país.

Vasos de pressão, com pressão manométrica de projeto interna ou externa de 100 kPa ou inferior, devem apresentar uma resistência suficiente para suportar uma pressão de pelo menos 3 vezes a pressão de projeto e devem ser testados com pressão pneumática não inferior a 1,1 vez a pressão de projeto ou teste de pressão hidrostática não inferior a 1,5 vez a pressão de projeto.

**NOTA 1:** Recomenda-se que todos os vasos de pressão atendam à NR-13, incluindo a documentação exigida para o prontuário do vaso e a plaqueta de identificação.

**NOTA 2:** Considerando os problemas relacionados ao acúmulo de umidade no interior do vaso de pressão e possível contaminação ao restante do sistema, recomenda-se sempre o teste de pressão pneumático.

Segundo a norma, as pressões de projeto não podem ser inferiores às pressões máximas de operação ou às pressões que possam ocorrer durante as paradas do sistema ou ainda no transporte do componente ou do equipamento. Para a definição da pressão de projeto, deve ser considerada uma folga suficiente entre a pressão de operação do sistema, a pressão de ajuste limite dos dispositivos de controle dos equipamentos (falha por alta pressão) e a pressão de ajuste dos dispositivos de alívio de pressão, a fim de evitar paradas inconvenientes por falhas de alta pressão e perdas de fluido frigorífico por abertura do dispositivo de alívio. O ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII, Division I, Appendix M, contém informações sobre tolerâncias adequadas para a definição da pressão de projeto.

### 2.3 NORMA ABNT NBR 15976:2011

A norma **ABNT NBR 15976:2011** aborda a redução das emissões de fluidos frigoríficos halogenados em equipamentos e instalações estacionárias de refrigeração e ar condicionado. Alguns dos assuntos tratados por esta norma estão citados abaixo:

- Manuseio do fluido frigorífico;
- Limpeza do sistema;
- Fluido para teste de vazamento;
- Instalação de equipamentos e sistemas montados no campo;
- Teste de pressão e evacuação no campo;
- Carregamento no campo;
- Registro da carga de fluido frigorífico;
- Serviço, operação, manutenção e desativação;



- Limpeza de um sistema de compressor após uma falha mecânica, uma contaminação ou queima do motor;
- Operação e manutenção do sistema;
- Recolhimento, reutilização e descarte de fluido refrigerante;
- Transferência, transporte e armazenamento de fluidos refrigerantes;
- Manuseio e armazenamento de fluidos refrigerantes.

Referente às questões de serviço, operação, manutenção e desativação, tratadas no item 8 dessa norma, recomenda-se não utilizar fluidos com potencial de destruição do ozônio e/ou com potencial de aquecimento global como solventes para limpeza de sistemas de refrigeração, a não ser que haja garantia de recolhimento e destinação apropriada dessas substâncias ao final do processo. Informa ainda que não pode ser adicionado fluido refrigerante a qualquer sistema com vazamento superior a 35% da sua carga no período de 12 meses para equipamentos com carga de fluido refrigerante superior a 23 kg, sem que o vazamento seja identificado e corrigido. Se o equipamento apresentar taxa de vazamento que exceda 35% da carga total no período de 12 meses, o reparo deve reduzir essa taxa a valores inferiores a 35%.

Quanto ao recolhimento, reutilização e descarte de fluido refrigerante, essa norma informa que “*o fluido refrigerante de qualquer tipo de equipamento de refrigeração ou ar condicionado deve ser reutilizado, reciclado por unidade no local ou enviado em recipientes apropriados para uma unidade de reciclagem ou central de regeneração, sempre que for removido do equipamento*”. Em hipótese alguma deverá ser liberado para a atmosfera. A norma destaca que devem ser aplicadas as leis e normas brasileiras vigentes, ou internacionais, aos processos relacionados a recolhimento, reciclagem, regeneração e destinação final de fluidos refrigerantes.

## 2.4 NORMA REGULAMENTADORA NR13 DO MINISTÉRIO DO TRABALHO

A Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho “NR13 Caldeiras e Vasos de Pressão” estabelece todos os requisitos técnicos e legais relativos à instalação, operação e manutenção de caldeiras e vasos de pressão, de modo a se prevenir a ocorrência de acidentes do trabalho. A fundamentação legal, ordinária e específica, que dá embasamento jurídico à existência desta NR, são os artigos 187 e 188 da CLT (Consolidação das Leis do Trabalho).

Referentes aos vasos de pressão, a NR13 os classifica como equipamentos que contêm fluidos sob pressão interna ou externa. Constitui risco grave e iminente a falta de qualquer um dos seguintes itens:

- a. Válvula ou outro dispositivo de segurança com pressão de abertura ajustada em valor igual ou inferior à pressão máxima de trabalho, instalada diretamente no vaso ou no sistema que o inclui;

- b. Dispositivo de segurança contra bloqueio inadvertido da válvula quando esta não estiver instalada diretamente no vaso;
- c. Instrumento que indique a pressão de operação.

Todo vaso de pressão deve ter afixado em seu corpo, em local de fácil acesso e bem visível, placa de identificação indelével com, no mínimo, as seguintes informações:

- a. Fabricante;
- b. Número de identificação;
- c. Ano de fabricação;
- d. Pressão máxima de trabalho admissível;
- e. Pressão de teste hidrostático;
- f. Código de projeto e ano de edição.

Além da placa de identificação, deverá constar, em local visível, a categoria do vaso e seu número ou código de identificação. Todo vaso de pressão deve possuir, no estabelecimento onde estiver instalado, a seguinte documentação devidamente atualizada:

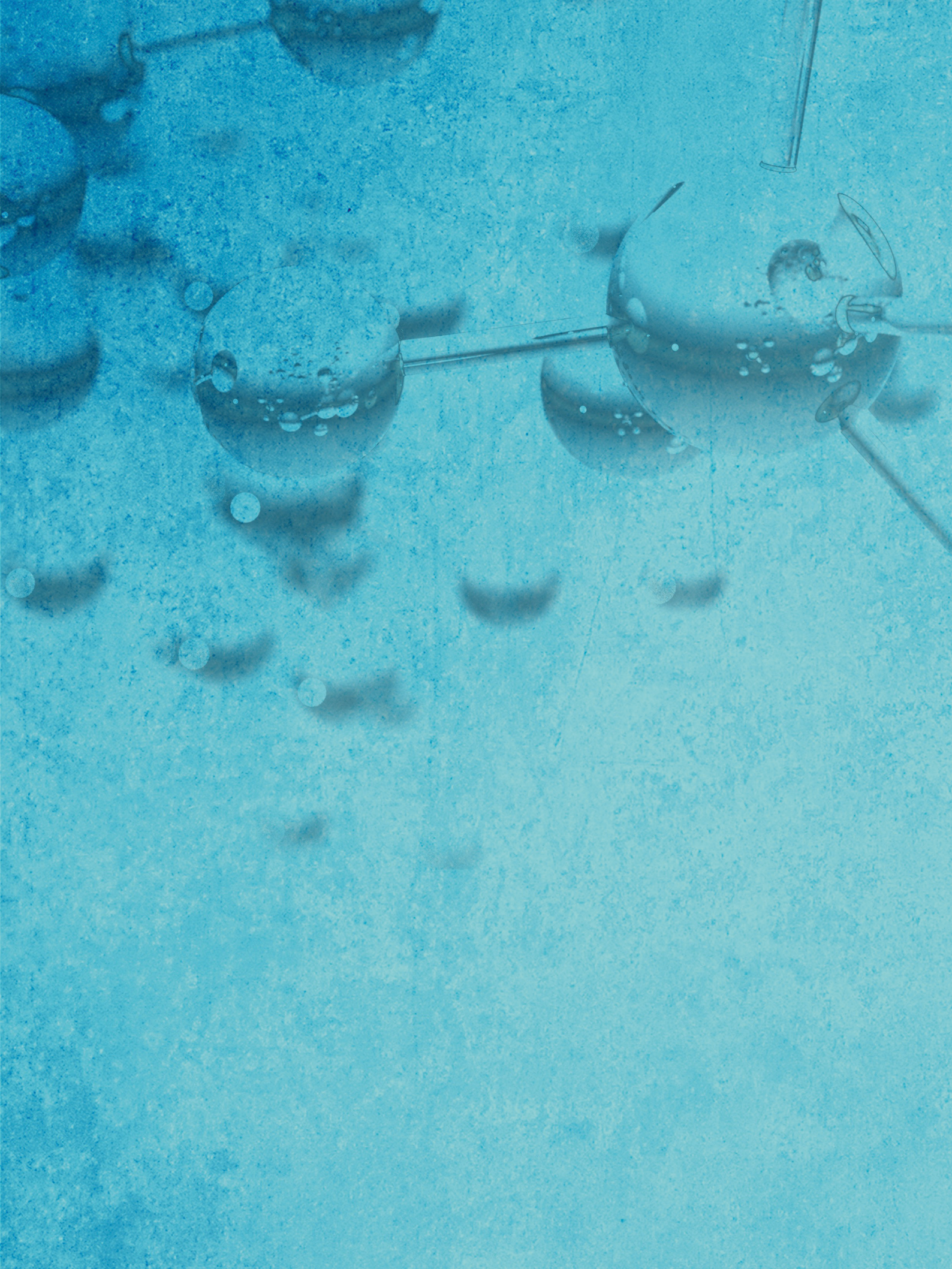
- a. “Prontuário do Vaso de Pressão” a ser fornecido pelo fabricante, contendo as seguintes informações:
  - Código de projeto e ano de edição;
  - Especificação dos materiais;
  - Procedimentos utilizados na fabricação, montagem e inspeção final e determinação da pressão máxima de trabalho;
  - Conjunto de desenhos e demais dados necessários para o monitoramento da sua vida útil;
  - Características funcionais;
  - Dados dos dispositivos de segurança;
  - Ano de fabricação;
  - Categoria do vaso.
- b. “Registro de Segurança”;
- c. “Projeto de Instalação”;

- d. “Projeto de Alteração ou Reparo”;
- e. “Relatórios de Inspeção”.

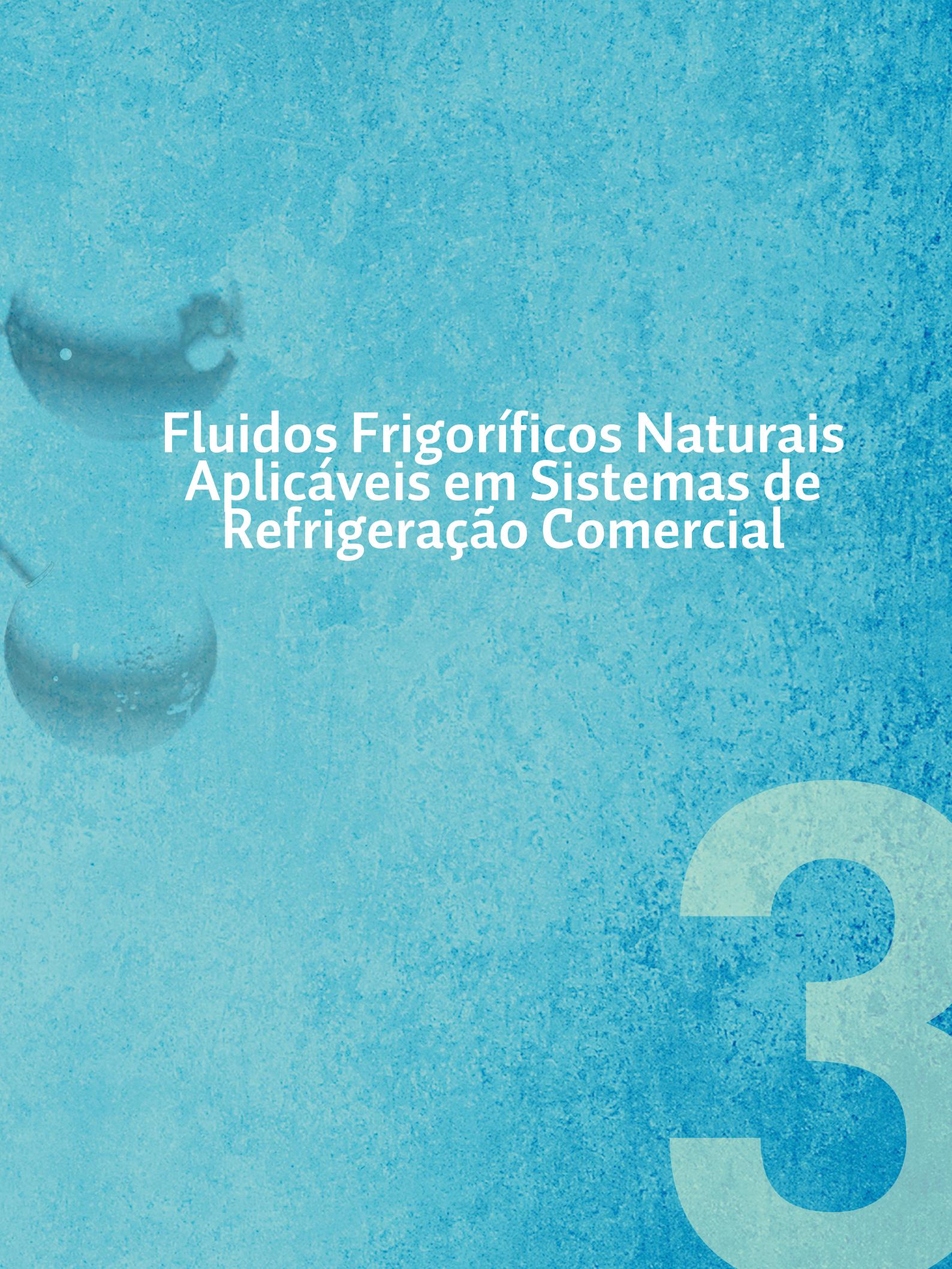
Quando inexistente ou extraviado, o “Prontuário do Vaso de Pressão” deve ser reconstituído pelo proprietário com responsabilidade técnica do fabricante ou de “profissional habilitado”, sendo imprescindível a reconstituição das características funcionais, dos dados dos dispositivos de segurança e dos procedimentos para determinação da pressão máxima de trabalho. O proprietário do vaso de pressão deverá apresentar, quando exigida pela autoridade competente do órgão regional do Ministério do Trabalho, a documentação que deve estar sempre à disposição para consulta dos operadores do pessoal de manutenção, de inspeção e das representações dos trabalhadores e do empregador na Comissão Interna de Prevenção de Acidentes – CIPA, devendo o proprietário assegurar pleno acesso a essa documentação, inclusive à representação sindical da categoria profissional predominante no estabelecimento, quando formalmente solicitado.











# Fluidos Frigoríficos Naturais Aplicáveis em Sistemas de Refrigeração Comercial





Os HCFCs tornaram-se, na década de 1990, os principais compostos alternativos aos CFCs, com destaque para o R22 que tem sido aplicado com sucesso em sistemas de refrigeração de todos os tamanhos, capacidades e faixas de temperaturas. Entretanto, o R22 vem sendo eliminado pelo Protocolo de Montreal, conforme cronograma de eliminação apresentado na Tabela 1.1.

Tal situação tem levado ao aumento da utilização de “antigos fluidos frigoríficos”, os fluidos naturais, entre eles o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), a amônia ( $\text{NH}_3$ ) e os hidrocarbonetos (R290, R1270, etc.). Tem sido desenvolvidas tecnologias e aplicações, nos vários setores da refrigeração, que tornem viável a utilização desses fluidos. Os fluidos naturais não afetam a camada de ozônio ( $\text{PDO} = 0$ ) e apresentam baixíssimo impacto para o sistema climático global, com GWP quase nulo. Esses fluidos se apresentam como alternativa promissora para o setor de refrigeração comercial de supermercados, principalmente o dióxido de carbono, que pode ser utilizado como fluido de expansão direta e indireta, e também a amônia e os hidrocarbonetos, que podem ser utilizados como fluidos frigoríficos de expansão indireta em conjunto com outros fluidos intermediários.



**Figura 3.1 - Fluidos naturais na refrigeração comercial para supermercados.**

De acordo com a Tabela 3.1, estão disponíveis no mercado alguns fluidos frigoríficos alternativos para refrigeração comercial de supermercado, no qual alguns parâmetros podem ser comparados, tendo o R22 como linha de base.

É certo que existem defensores para cada um deles, entretanto, ainda não há uma única solução definitiva em que se possa escolher apenas um deles para todas as aplicações. De certo modo, existem limitações ou complicações para a aplicação irrestrita dessas substâncias, por exemplo, o uso da amônia em áreas urbanas, a eficiência energética do  $\text{CO}_2$  para altas temperaturas ambiente e a utilização dos hidrocarbonetos com elevada carga de fluido. Entretanto, vale ressaltar que antes de se preparar para a substituição dos HCFCs, alguns fatores importantes deverão ser levados em consideração, tais como: respeitar as normas de segurança e seguir todas as recomendações dos fabricantes de compressores, componentes, fluido frigorífico natural, etc. Também é indicada a contratação de especialista para assessoramento da aplicação do fluido frigorífico natural, envolvendo

o acompanhamento das etapas de projeto, instalação e funcionamento do sistema. Além disso, é fundamental o treinamento de todos os envolvidos com a instalação frigorífica (operadores, técnicos de manutenção), para que sejam capazes de lidar com as especificidades na aplicação dos fluidos naturais.

**Tabela 3.1- Fluidos frigoríficos naturais alternativos ao R22 na refrigeração comercial de supermercados.**

Fluido Frigorífico	R22	R744	R290	R1270	R717
Substância Natural	não	sim	sim	sim	sim
Nome Comercial	-	Dióxido Carbono	Propano	Propileno	Amônia
Fabricante	vários	vários	vários	vários	vários
Composição química	CHClF <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	NH <sub>3</sub>
Potencial de Destruição do Ozônio (PDO)	0,05	0	0	0	0
Potencial Aquecimento Global (GWP)	1500	1	3	3	0
Temperatura Glide (K) <sup>1</sup>	0	0	0	0	0
Inflamabilidade	não	não	alta	alta	baixa
Toxicidade	baixa	baixa	baixa	baixa	alta
Tipo de óleo lubrificante <sup>2</sup>	MO/AB/	POE	MO/ PAO/POE	MO/ PAO/POE	MO/PAO
	MO+AB				
Tipo de aplicação <sup>3</sup>	HT / MT / LT	MT e LT	HT / MT / LT	MT / LT	HT / MT / LT
			(Sist. Indiretos)	(Sist. Indiretos)	(Sist. Indiretos)
Tipo de Equipamento <sup>4</sup>	-	Novos	Novos	Novos	Novos

Fontes: EN 378-1; ASHRAE 34-2010; BITZER Refrigerant Report A-501-17.

1- Temperatura glide maior que zero significa que em caso de vazamento parcial da substância a recomposição final da carga de fluido no sistema não ficará com as mesmas características originais e, conseqüentemente haverá perda de rendimento do equipamento frigorífico. Em alguns casos, dependendo da porcentagem de vazamentos que se perdeu, será necessário retirar o fluido remanescente no sistema, eliminar o vazamento e completar com nova carga.

2- MO = óleo mineral; MO+AB = mistura de óleo mineral com alquilbenzeno (semi-sintético); POE = óleo poliéster; PAO = óleo polialfaolifina.

3- HT = Alta temp. evaporação (ar condicionado), MT = Média temp. evaporação (sistema de resfriados), LT = Baixa temp. evaporação (sistema de congelados).

4- As opções com fluidos alternativos naturais (CO<sub>2</sub>, HCs e NH<sub>3</sub>) somente serão válidas para os equipamentos novos, em hipótese alguma deverão ser utilizados para Retrofit com substituição direta do R22.

A evolução e as inovações tecnológicas atuais contribuirão para que os fluidos frigoríficos naturais (CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, HCs) se tornassem uma solução segura e econômica para determinadas aplicações. Soluções técnicas com a adoção de sistemas de refrigeração com “fluidos naturais” deverão ter um papel cada vez mais importante no futuro.

### 3.1 DISPONIBILIDADE E COMERCIALIZAÇÃO DOS FLUIDOS FRIGORÍFICOS NATURAIS NO BRASIL

Os fluidos naturais são fabricados e comercializados no Brasil por várias empresas, como a Linde BOC, White Martins, Air Liquide, Air Products, Amonex, havendo grande disponibilidade dessas substâncias em todo o território nacional por meio de suas revendas e distribuidores. Por exemplo, o dióxido de carbono é fornecido em cilindros que variam de 25 Kg a 45 Kg, conforme figura 3.2. Para grandes quantidades, o CO<sub>2</sub> pode ser fornecido em mini tanques equipados com bombas de líquido para ser conectada diretamente ao sistema. Porém, nesse caso, a pressão do sistema deverá estar abaixo da pressão do tanque.

No caso da amônia, ela deve ser devidamente transportada e armazenada até o seu destino final. Dentre os recipientes adequados para o seu armazenamento estão as garrafas de aço, cromo (para amônia líquida), teflon, PVC e ferro (exceto para amônia a altas temperaturas). Além desses, a amônia também pode ser estocada em recipientes construídos por ligas metálicas como cromo-níquel e aço-cromo. Existem diversos tamanhos de cilindros onde a amônia pode ser comercializada, inclusive com a utilização de caminhões tanques com grande capacidade de transporte.

Os hidrocarbonetos, na sua grande maioria, são comercializados em cilindros descartáveis semelhantes aos de fluidos frigoríficos sintéticos, porém variando entre 5 a 6,5 Kg. Existem também embalagens pequenas descartáveis de até 1 kg.



**Figura 3.2 - Exemplo de cilindro CO<sub>2</sub> para carregar o sistema frigorífico.**

Vale lembrar que qualquer tipo de fluido frigorífico, seja natural ou sintético, deve sempre ser adquirido de empresa idônea e de procedência legal. Fluidos de procedência desconhecida representam

um alto risco, tanto para o usuário quanto para o equipamento de refrigeração. Além disso, se houver qualquer violação da etiqueta do produto o usuário não deverá utilizá-lo.

É importante observar o grau de pureza dos fluidos frigoríficos naturais que estão sendo adquiridos. Em todos os casos recomenda-se um grau de pureza com  $H_2O < 5$  ppm (partes por milhão) para evitar qualquer risco de reação química entre o fluido e o óleo lubrificante do compressor. A maioria dos fabricantes de compressores recomenda um conteúdo de umidade ( $H_2O$ ) misturado ao óleo lubrificante variando entre 30 ppm a 50 ppm de  $H_2O$  para evitar as reações químicas e degradação do equipamento.

Cuidados especiais também são necessários em relação à armazenagem dos fluidos naturais, que deve ser feita, preferencialmente, em área coberta, seca, ventilada, com piso impermeável e afastada de materiais incompatíveis. É essencial que se adotem cuidados especiais com os cilindros e tanques de fluidos frigoríficos, inclusive no seu abastecimento.

## 3.2 CARACTERÍSTICAS DOS FLUIDOS FRIGORÍFICOS NATURAIS

### 3.2.1 Características do Dióxido de Carbono ( $CO_2$ / R744)

O dióxido de carbono (R744) é um fluido 100% natural e sua concentração na atmosfera é de aproximadamente 0,04% em volume (400 ppm). Seu potencial de destruição do ozônio (PDO) é zero e o seu potencial de aquecimento global é de apenas um ( $GWP = 1$ ), sendo utilizado como referência para os outros fluidos frigoríficos.

O R744 é um fluido frigorífico de classe A1 (não inflamável e atóxico), contudo, pode causar sufocamento em altas concentrações. Este fluido possui excelente miscibilidade com os óleos lubrificantes, o que facilita a sua separação e diminui o arraste para o sistema, aumentando consequentemente a transferência de calor nos evaporadores e condensadores.

Na aplicação subcrítica (sistema em cascata), este fluido leva bastante vantagem em relação aos sistemas de simples estágio, pois sua alta densidade do vapor de sucção resulta numa troca de calor eficiente entre a linha de sucção do  $CO_2$  e a linha de líquido do estágio de alta pressão. Além disso, aumenta o rendimento do sistema de alta pressão e garante um controle estável do superaquecimento do vapor de sucção do compressor de  $CO_2$ , evitando a diluição do fluido frigorífico no óleo. No ciclo transcrito, a pressão do resfriador gasoso (gás cooler) e a temperatura não são interligadas como na região subcrítica de duas fases. A elevada pressão de vapor resulta não apenas numa baixa relação de pressão, mas também em altos coeficientes de troca de calor e perdas de pressão relativamente baixas.

Como se trata de um fluido natural e disponível na atmosfera, o  $\text{CO}_2$  não tem a necessidade de ser recuperado, tratado ou reciclado, tornando-o muito atrativo para determinadas aplicações onde a infraestrutura é deficiente. Em 2014, já existiam no Brasil mais de 40 supermercados que utilizavam o dióxido de carbono como fluido refrigerante, por meio de aplicação em cascata (subcrítica).

A principal desvantagem do  $\text{CO}_2$  é a sua intrínseca pressão de trabalho, a qual é muito mais elevada que a dos demais fluidos naturais ou sintéticos, impondo maiores exigências à segurança do sistema e dos componentes, principalmente quanto à necessidade de utilização de válvulas de segurança ao redor do sistema. Normalmente para a aplicação subcrítica, as pressões deverão ser limitadas em 25 bar, no lado de baixa pressão, e 40 bar, na alta pressão. Já na condição transcritical, o nível de pressão de descarga pode chegar a 120 bar.

Em caso de vazamento, o  $\text{CO}_2$  pode se tornar perigoso em ambientes fechados por ser inodoro e possuir maior densidade que o ar. É recomendável a instalação de sensores para controle e monitoramento de vazamento. É preciso cuidado especial em relação ao ponto triplo, pois poderá ocorrer a formação de  $\text{CO}_2$  sólido (gelo seco), com pressões abaixo de 5,2 bar abs (-56,6 °C). A utilização do  $\text{CO}_2$  demanda o envolvimento de pessoal técnico bem treinado para lidar com suas características de operação.

### 3.2.2 Características dos Hidrocarbonetos (HCs)

Os fluidos refrigerantes hidrocarbonetos foram introduzidos no começo do século XX (na Alemanha, em 1916). Nos anos 20 e 30, refrigeradores foram desenvolvidos utilizando isobutano (R600a) como fluido refrigerante. Gradualmente, os CFCs substituíram todos os outros fluidos, mesmo assim, no início dos anos 50 ainda podiam ser encontrados produtos novos no mercado europeu utilizando isobutano. Em seguida, uma mudança mundial para o CFC-12 se realizou e o uso dos hidrocarbonetos como fluido de trabalho se restringiu a grandes plantas de refrigeração industrial na indústria química e de petróleo.

Os hidrocarbonetos são incolores e quase inodoros, têm zero potencial de destruição do ozônio (PDO = 0) e potencial de aquecimento global direto desprezível (GWP = 3).

A opção de uso de hidrocarbonetos como fluidos alternativos aos CFCs recebeu atenção considerável na Alemanha em 1990/1991. Em 1993, uma companhia iniciou a venda de refrigeradores usando uma mistura de propano e isobutano como fluido refrigerante. Como resultado de ações tomadas pelo Greenpeace, e com o aumento da consciência ambiental, a opção hidrocarbonetos se tornou realidade.

Graças às suas destacadas características termodinâmicas, os hidrocarbonetos contribuem para que os sistemas de refrigeração sejam energeticamente eficientes. Entretanto, eles são mais pesados que o ar e têm efeito anestésico e asfíxiante para altas concentrações. Os hidrocarbonetos estão

disponíveis a baixo custo no mundo inteiro, são solúveis em todos os lubrificantes e compatíveis com diversos tipos de materiais, tais como metais e elastômeros, tradicionalmente usados em equipamento de refrigeração. Suas aplicações geram níveis de ruído mais baixos, devido às menores pressões de trabalho, e ainda há a possibilidade de uso de óleo mineral e baixas temperaturas de descarga, permitindo aumentar a vida útil do compressor.

Na área de refrigeração para supermercados na Europa, sistemas indiretos estão recebendo cada vez mais atenção. O objetivo é limitar a carga dos hidrocarbonetos como fluidos frigoríficos primários em sistemas indiretos (incluindo o R1270, R290 e misturas R290/170), que estão sendo implantados e operando em vários países europeus.

Os hidrocarbonetos são tecnicamente viáveis para serem utilizados em vários tipos de sistemas de refrigeração, mas aplicações práticas são restringidas por códigos de segurança e regulamentos nacionais. Os hidrocarbonetos são inflamáveis e medidas adequadas de segurança devem ser usadas durante a manipulação, fabricação, manutenção, assistência técnica e descarte do equipamento.

Diversos países contam com legislação e normas técnicas sobre as limitações de uso e os aspectos de segurança necessários. As limitações da carga de hidrocarbonetos são especificadas por normas de segurança (e.g. EN 378 e IEC 60335-2-89), onde as máximas quantidades por circuito dependem da aplicação. A norma europeia EN 378 se refere aos requisitos de segurança e ambientais para sistemas de refrigeração.

### 3.2.3 Características da Amônia ( $\text{NH}_3$ / R717)

A amônia, por ser uma substância 100% natural e de reduzido tempo de residência na atmosfera (menos de 14 dias), não interage com a camada de ozônio ( $\text{PDO} = 0$ ) e tampouco contribui com o aquecimento global. Seu custo de aquisição é baixo e possui baixa densidade de vapor, o que possibilita a utilização de vasos de pressão, trocadores de calor e tubulações de menores dimensões. Por utilizar tubulações de menores diâmetros, a perda de carga é menor, reduzindo o custo de bombeamento em sistemas inundados.

Devido às suas melhores propriedades termodinâmicas, o R717 apresenta um melhor coeficiente de rendimento (COP), comparado aos fluidos sintéticos, entre eles o R22. Também possui uma ótima transferência de calor, o que possibilita operar com maiores temperaturas de evaporação ou menores temperaturas de condensação.

Graças ao seu odor característico torna-se fácil notar o surgimento de vazamentos. A amônia possui grande tolerância a umidade e a água forma uma solução com a amônia que não congela; porém acima de 300 ppm ocorre a oxidação do aço.

Assim como os hidrocarbonetos, a amônia também vem sendo aplicada nos sistemas de expansão indireta e com carga reduzida. Muitas aplicações da amônia e do dióxido de carbono em cascata têm sido feitas nos países europeus. No Brasil, algumas empresas têm aplicado a amônia como fluido de expansão indireta em supermercados do sul do país, sendo que os fluidos intermediários, como o propileno glicol e tifoxy, foram utilizados nos evaporadores de média temperatura e baixa temperatura, respectivamente.

A amônia não é totalmente miscível ao óleo lubrificante, conseqüentemente recomenda-se instalar separadores de óleo, bem como posicionar drenos nos pontos mais baixos da instalação, locais onde é certo que o óleo se depositará. Em virtude das especificidades da amônia, recomenda-se a utilização de profissional capacitado e a realização de maior número de manutenção.

O R717 é compatível com aço, ferro e alumínio, porém não poderá ser utilizado com cobre, zinco e suas ligas, borracha e plástico. Além desta menor gama de opções em relação aos materiais, o R717 exige uma técnica de soldagem mais refinada, pois vazamentos não poderão ocorrer. A amônia poderá se tornar explosiva dentro de teores de concentração de 16 a 28% em volume. Possui alta toxicidade (25 ppm) que deverá ser levada em consideração durante a elaboração e implementação de projetos técnicos.

### 3.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS FLUIDOS FRIGORÍFICOS NATURAIS

A Tabela 3.2 mostra as principais propriedades termofísicas, ambientais e de segurança de alguns fluidos frigoríficos naturais.

**Tabela 3.2 – Propriedades termofísicas, segurança e ambiental dos fluidos frigoríficos.**

Fluido Frigorífico		CO <sub>2</sub>	R290	R1270	R600a	R717
Temperatura ebulição normal (°C)		-78,5	-42,1	-47,7	-11,61	-33,3
Pressão crítica (bar <sub>abs</sub> )		73,6	42,48	46,65	36,31	113,3
Temperatura crítica (°C)		31,1	96,7	92,40	134,70	132,3
Massa Molecular (g/mol)		44,01	44,10	42,08	58,12	17,03
Limite de inflamabilidade (% volume ar)	Inferior	Nenhum	2,1	2,5	1,8	16
	Superior	Nenhum	9,5	10,1	8,4	28
Calor de combustão (MJ/Kg)		Nenhum	53,3	50,5	49,4	22,5
Tempo de vida na atmosfera (anos)		>50	0,041	0,001	0,016	<0,02



### 3.3.1 COMPARAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DOS FLUIDOS FRIGORÍFICOS NATURAIS AOS DOS FLUIDOS SINTÉTICOS

Os fluidos naturais se apresentam como uma alternativa promissora para o setor de refrigeração comercial de supermercados, pois além de minimizarem os impactos ambientais, também podem gerar menor consumo de energia, com diversos fatores positivos e relevantes, quando comparados aos fluidos sintéticos. A Tabela 3.3 apresenta os valores de PDO e GWP de vários fluidos frigoríficos sintéticos e naturais.

**Tabela 3.3 – Características de fluidos frigoríficos, em destaque os valores de PDO e GWP.**

Fluidos Frigoríficos	PDO (R11=1,0)	GWP (100) [CO <sub>2</sub> =1,0] (*2) (*3)	Grupo de segurança (*4)	Limite prático [kg/m <sup>2</sup> ] (*2)
<b>Fluidos - HCFC</b>				
HCFC-22	0,055	1810 (1700)	A1	0,3
HCFC-124	0,022	609 (620)	A1	0,11
HCFC-142b	0,065	2310 (2400)	A1	0,066
<b>Misturas HCFC/HFC</b>				
R402A	0,021	2788 (2690)	A1	0,33
R402B	0,033	2416 (2310)	A1	0,32
R408A	0,031	3152 (3020)	A1	0,41
<b>Fluidos - HFC</b>				
HFC-134a	0	1430 (1300)	A1	0,25
HFC-152a		124 (120)	A2	0,027
HFC-125		3500 (3400)	A1	0,39
HFC-143a		4470 (4300)	A2	0,056
HFC-32		675 (550)	A2(L)	0,061
HFC-227ea		3220 (3500)	A1	0,59
HFC-236fa		9810 (9400)	A1	0,59
HFC-23		14800 (12000)	A1	0,68
<b>Misturas HFC</b>				
HFC-404A	0	3922 (3780)	A1	0,52
HFC-507A		3985 (3850)	A1	0,53
HFC-407A		2107 (1990)	A1	0,33
HFC-407F		1825 (1705)	A1	0,29
HFC-422A		3143 (3040)	A1	0,29
HFC-437A		1805 (1680)	A1	0,08
HFC-407C		1774 (1650)	A1	0,31
HFC-417A		2346 (2240)	A1	0,15
HFC-417B		2920	A1	0,07
HFC-422D		2729 (2620)	A1	0,26
HFC-427A		2138 (2010)	A1	0,28
HFC-438A		2264 (2150)	A1	0,08
HFC-410A		2088 (1980)	A1	0,44
ISCEON MO89		3805	N/A	N/A
HFC-508A		13214 (11940)	A1	0,23
HFC-508B		13396 (11950)	A1	0,2

Fluidos Frigoríficos	PDO (R11=1,0)	GWP (100) [CO <sub>2</sub> =1,0] (*2) (*3)	Grupo de segurança (*4)	Limite prático [kg/m <sup>2</sup> ] (*2)
<b>Misturas HFO e HFO/HFC</b>				
HFO-1234yf	0	4	A2(L)	0,058
HFO-1234ze(E)		6	A2(L)	N/A
Opteon XP-10		<600	A1	0,35
Solstice N-13		<600	A1	N/A
<b>Fluidos livres de Halogenos</b>				
R717	0	0	B2	0,00035
R723		8	B2	N/A
R600a		3	A3	0,011
R290		3	A3	0,008
R1270		3	A3	0,008
R170 (*1)		3	A3	0,008
R744		1	A1	0,07

\*1-Também proposto como um componente na mistura R290/600a (alternativo direto do R12).

\*2-De acordo com a EN 378-1: 2012. Anexo E.

\*3-Tempo na atmosfera de 100 anos de acordo com o IPCC IV (2007). Valores entre parêntesis de acordo com o IPCC III (2001), dados de referência da EN 378-1: 2012, Anexo E, também com base na Regulamentação EU 842/2006.

\*4-Classificação de acordo com a EN 378-1:2012 e ASHRAE 34:2010.

**Obs.:**

- 1 - Potencial de Destruição do Ozônio (PDO) – é um índice baseado na referência do R11 (100%), por exemplo, o R22 possui um PDO = 0,05, ou seja tem um potencial de destruição do ozônio de 5% comparado ao R11.
- 2 - Potencial de Aquecimento Global (GWP - Global Warming Potential) - é um índice que compara o efeito do aquecimento produzido pelos gases na atmosfera ao longo do tempo (normalmente 100 anos), em relação a quantidades semelhantes de CO<sub>2</sub> (em peso).

### 3.3.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DOS FLUIDOS FRIGORÍFICOS NATURAIS

#### 3.3.2.1 Dióxido de Carbono

De acordo com vários estudos sobre eficiência energética realizados em sistemas de refrigeração comercial de supermercados, observa-se que o CO<sub>2</sub> apresenta vantagens, quando comparado a outros fluidos frigoríficos, para regiões de clima com temperaturas amenas, principalmente na condição de operação subcrítica. Além disso, quanto maior for a carga térmica de baixa temperatura maior será a eficiência energética do CO<sub>2</sub>. Para ambientes com altas temperaturas, a eficiência energética fica comprometida, principalmente na condição de operação transcritical. O CO<sub>2</sub> possui alta capacidade volumétrica de refrigeração, que chega a ser de 5 a 8 vezes maior que a do R22, dependendo das condições de aplicação, permitindo a utilização de compressores, componentes e tubulações de tamanhos reduzidos. Possui ótimas características para transferência de calor, além de ser estável quimicamente e termodinamicamente.

#### 3.3.2.2 Hidrocarbonetos

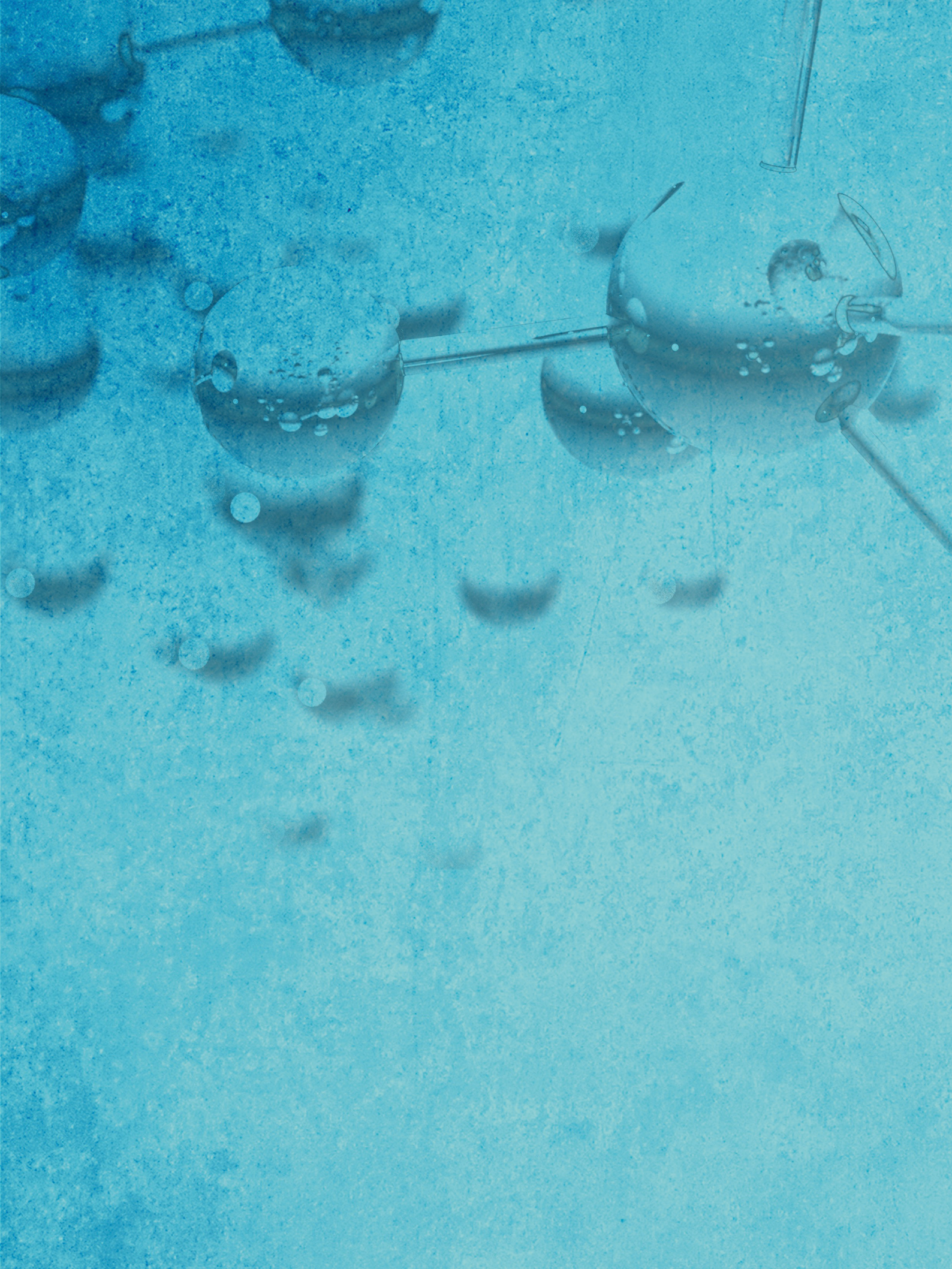
Alguns resultados iniciais publicados mostram que sistemas indiretos com hidrocarbonetos possuem maior consumo de energia em relação aos sistemas de expansão direta com R22 e R404A. Essa pe-

nalidade do consumo energético é devida aos requisitos adicionais do sistema, tais como trocadores de calor e bombas para circulação. Mas, atualmente, pode-se dizer que um sistema indireto bem projetado e instalado apresenta consumo de energia muito próximo aos dos sistemas de expansão direta. O trabalho de aprimoramento dos projetos de sistemas indiretos continua em desenvolvimento, juntamente com as metas de reduzir os custos e o consumo de energia nestes sistemas. A carga de fluido frigorífico é outro aspecto importante a ser verificado.

### **3.3.2.3 Amônia**

Assim como os hidrocarbonetos, a aplicação da amônia na refrigeração comercial somente deverá ser realizada por meio de sistemas de expansão indireta. Com a atual tecnologia disponível no mercado, é possível trabalhar com uma carga bastante reduzida de amônia, com a utilização de trocadores de calor do tipo micro canais e a placa. A amônia possui uma entalpia de evaporação bem superior quando comparada aos fluidos sintéticos, sendo possível reduzir o consumo energético, mesmo nos sistemas indiretos. Entretanto, a alta temperatura de descarga obriga que parte da área de troca do condensador seja usada como dessuperaquecedor. Para sistemas de amônia que usam degelo por gás quente, deve-se providenciar plena liberdade de dilatação térmica para evitar rupturas na tubulação. Compressores de pistão devem ser providos de cabeçotes resfriados a água, para evitar a deterioração do óleo e facilitar a separação do mesmo; já os compressores parafusos devem dispor de resfriador de óleo específico para os mesmos fins.









# Refrigeração Comercial

4



## 4.1 EQUIPAMENTOS E SISTEMAS APLICADOS NA REFRIGERAÇÃO COMERCIAL EM SUPERMERCADOS

A refrigeração comercial é caracterizada pelo armazenamento e exposição dos alimentos e bebidas com diferentes níveis de temperatura dentro dos supermercados. As capacidades de refrigeração dos equipamentos podem variar de algumas centenas de watts até 1,5 MW, dependendo do tipo de instalação. A escolha do fluido frigorífico depende de dois principais níveis de temperatura necessária para a conservação de alimentos frescos e bebidas, de um lado, e de alimentos congelados, do outro lado. Quanto mais compacto for o equipamento, melhor será a contenção do fluido frigorífico.

Os sistemas centralizados utilizados em grandes supermercados são os maiores emissores de fluido, devido ao grande número de interligações de tubulações (uniões), válvulas de expansão, falhas de retorno do óleo, corrosões e vibrações. No Brasil, o HCFC-22 representa a maior quantidade de fluido em sistemas de refrigeração comercial de supermercado e é usado para todos os níveis de temperatura. Pesquisas e testes de campo vêm sendo realizados com o objetivo de definir novas possibilidades técnicas, a fim de utilizar, principalmente, os fluidos naturais ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  e HCs), manter ou aumentar a eficiência energética dos novos sistemas, melhorar a estanqueidade e reduzir a carga de fluido frigorífico.

A refrigeração comercial é composta de três principais categorias de equipamentos: equipamentos autônomos (stand-alone), unidades condensadoras e sistemas de refrigeração com compressores em paralelo (racks).

### 4.1.1 Equipamentos Autônomos

Consistem em sistemas onde todos os componentes de refrigeração estão integrados. Para sistemas menores, o circuito de refrigeração é inteiramente soldado (hermético). Equipamentos autônomos, incluindo freezers, máquinas de venda automática e resfriadores de bebidas, são amplamente utilizados em muitos dos países do Artigo 5 do Protocolo de Montreal.

Para os países em desenvolvimento (Artigo 5), os equipamentos de refrigeração doméstica, refrigeradores e freezers, podem ser encontrados em lojas de supermercados e são usados para fins comerciais. Um equipamento autônomo normalmente emite sua carga de fluido frigorífico ao final de sua vida útil ou quando é feita sua desativação, o que dependerá de uma política de recuperação rigorosa do fluido.

## 4.1.2 Unidades Condensadoras

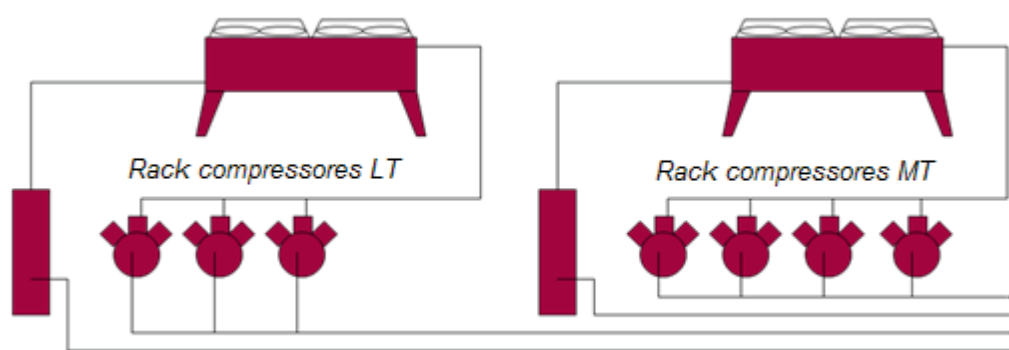
Apresentam capacidades de refrigeração que variam tipicamente de 1 kW a 20 kW e são compostas de um (ou dois) compressor (es), um condensador e um tanque de líquido montado numa base (estrutura metálica). Normalmente, elas ficam localizadas externamente à área de vendas. O equipamento de refrigeração é constituído por um ou mais expositor(es) na área de vendas e/ou uma pequena câmara frigorífica.

As unidades condensadoras normalmente são instaladas em lojas especializadas, tais como padarias, açougues e lojas de conveniência. Em alguns supermercados de pequeno porte, pode-se encontrar um grande número de unidades condensadoras (tipicamente até 20) instaladas lado a lado numa pequena casa de máquinas. Na maior parte dos países em desenvolvimento (Artigo 5), a utilização de sistemas que empregam unidades condensadoras é muito comum. As taxas de emissão de fluido frigorífico anuais são estimadas entre 7% e 12%.

## 4.1.3 Sistemas de Refrigeração com Compressores em Paralelo (Racks)

Este tipo de sistema utiliza compressores em paralelo conforme figura 4.1, e é a opção mais utilizada nas instalações em supermercados. As duas principais opções de projeto usadas em sistemas de refrigeração racks são: sistemas diretos e indiretos.

Os sistemas diretos, conforme mostrado na figura 4.1, são os mais utilizados, neles o fluido frigorífico circula a partir da sala de máquinas para a área de vendas, onde se evapora nos trocadores de calor dos expositores frigoríficos e das câmaras frigoríficas, e depois retorna em fase de vapor para os coletores de sucção dos racks de compressores.



**Figura 4.1 - Racks compressores montados em paralelo na sala de máquinas para os expositores de média e baixa temperatura.**

Na sala de máquinas, ficam os racks com vários compressores instalados com linhas de sucção e descarga comum. Cada rack geralmente está associado a um condensador resfriado a ar. Racks

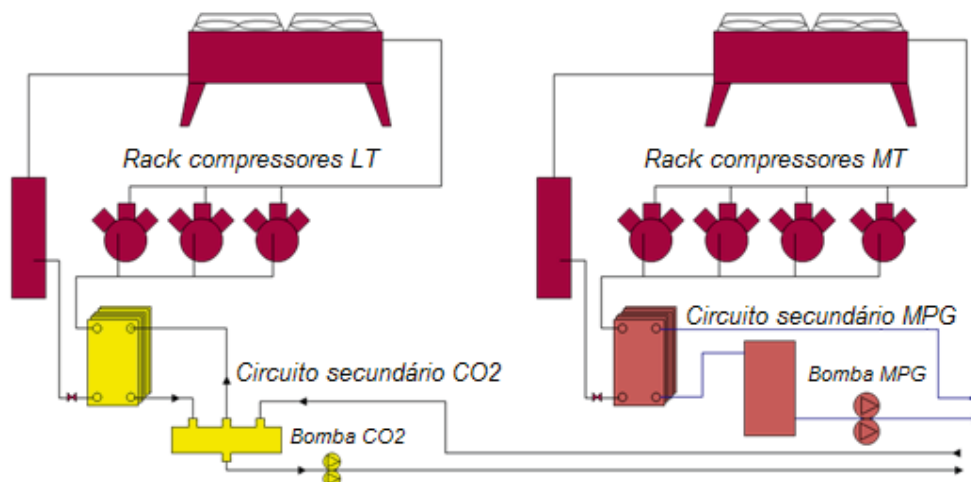


específicos são dedicados à baixa e outros para média temperatura. Cada circuito de refrigeração de cada rack é independente. Sistemas centralizados de refrigeração de supermercados com longos circuitos de tubulação consomem muita carga de fluido refrigerante (100 a 2.000 kg, dependendo do tamanho do supermercado) e, conseqüentemente, são responsáveis por grandes perdas quando ocorrem rupturas.

Algumas empresas comerciais têm estudado e tomado medidas para limitar os vazamentos de fluidos refrigerantes. Os relatórios técnicos elaborados mostram reduções das emissões anuais de fluido de aproximadamente 25% para 12%. Assim, as taxas de emissão típicas de pequenos supermercados variam entre 15% e 25% e, nos grandes supermercados, a emissão está entre 20% e 35%. Esses dados representam, em geral, a situação dos países desenvolvidos (Artigo 2 do Protocolo de Montreal).

As taxas de emissão para a maioria dos países em desenvolvimento (Artigo 5 do Protocolo de Montreal) são bem maiores, por exemplo, de 25% a 40%, para supermercados de pequeno e médio porte, e de 40% a 100%, nos supermercados de grande porte.

Os sistemas indiretos, conforme mostrado na figura 4.2, são compostos de trocadores de calor primários onde o fluido de transferência de calor – FTC (também chamado de fluido secundário) é resfriado e bombeado para os expositores, ocasião onde absorve calor e, em seguida, volta para o trocador de calor primário. Os fluidos de transferência de calor nos últimos anos receberam atenção especial, devido aos sistemas indiretos utilizarem menor carga de fluido no estágio primário, facilitando a aplicação de fluidos refrigerantes inflamáveis ou tóxicos quando isolados a partir da área de vendas. Outros projetos, incluindo os chamados sistemas distribuídos e os sistemas híbridos, foram desenvolvidos.



**Figura 4.2 - Sistema indireto com MPG (Mono-propileno-glicol) na média temperatura e R744 (dióxido de carbono) no estágio de baixa temperatura.**

## 4.2 DADOS DOS EQUIPAMENTOS E CARACTERÍSTICAS DAS LOJAS DE SUPERMERCADOS

A refrigeração comercial engloba equipamentos instalados em hotéis, bares, restaurantes, postos de gasolina, plataformas de trem, lojas especializadas (açougues, peixarias, lojas de delicatessen, etc.), lojas de conveniência, supermercados e hipermercados. Em 2006, o número de supermercados em todo o mundo foi estimado em 280.000 cobrindo um amplo leque de áreas de vendas variando de 400 m<sup>2</sup> a 20.000 m<sup>2</sup> (entre eles 10.000 supermercados grandes com áreas de vendas de alimentos variando entre 2.000 e 5.000 m<sup>2</sup>).

**NOTA:** Os dados disponíveis são provenientes do relatório de avaliação de 2010 do Programa das Nações Unidas para o Meio ambiente (UNEP) onde o modelo das lojas de supermercados é definido de diferentes maneiras, dependendo do estudo. Os dados implicam em incertezas sobre o nível do equipamento de refrigeração, especialmente em países em rápido desenvolvimento.

Em 2006, o número de minimercados no mundo foi estimado em 4 milhões, onde as unidades condensadoras foram as mais utilizadas. As unidades condensadoras também são utilizadas em muitas outras lojas, cujo número total é estimado em 34 milhões de unidades.

O número de lojas de varejo de alimentos (mercados) foi estimado em 9,8 milhões, onde equipamentos autônomos e até mesmo refrigeradores domésticos e freezers são encontrados. Em 2006, a população de máquinas de venda automática e outros equipamentos autônomos foi avaliada em 20,5 e 32 milhões de unidades, respectivamente.

Com base nesses dados, o banco de fluido frigorífico em 2006 foi estimado em 340.000 Mt e foi distribuído da seguinte forma:

- 46% em sistemas centralizados com compressores em paralelo (racks);
- 47% em unidades condensadoras;
- 7% em equipamentos autônomos.

A divisão estimada de fluido frigorífico, por tipo, é cerca de 15% de CFCs, que ainda estão em uso nos países do Artigo 5; 62% de HCFCs, que é o banco de fluido dominante e ainda será por alguns anos; e 23% de HFCs, que começaram a ser introduzidos em novos equipamentos na Europa e Japão a partir de 2000.

### 4.2.1 EQUIPAMENTOS AUTÔNOMOS

Em muitos países em desenvolvimento (Artigo 5 do Protocolo de Montreal), mesmo nos grandes supermercados, os expositores frigoríficos com máquinas acopladas são os preferidos, em vez de expositores remotos conectados a um sistema centralizado. A desvantagem evidente é que os expositores

com máquinas acopladas liberam todo o seu calor no interior da área de vendas e o sistema de ar condicionado tem de ser projetado de forma a absorver essa carga de calor adicional, implicando em custos adicionais de projeto e energia. A temperatura no interior do supermercado pode atingir valores elevados (acima de 30 °C, podendo ultrapassar os 40 °C), resultando na baixa capacidade desses expositores em manter os produtos na temperatura ideal. Além disso, a eficiência energética dos supermercados utilizando expositores com máquinas acopladas é baixa, pois a eficiência energética de compressores de pequeno porte é menor comparada aos compressores de médio e grande porte.

Estima-se que todos os fluidos utilizados nos equipamentos autônomos representam uma quantidade de cerca de 38.000 toneladas, e que os níveis de emissão durante a vida útil é calculada entre 1% a 5%, dependendo da qualidade do serviço, corrosão e manuseio diário dos produtos. Poucos são os vazamentos no início do ciclo de vida dos equipamentos com ciclo de refrigeração compacto, pois o número de uniões com porca são mínimas ou mesmo nulo (todo o circuito é soldado). As questões críticas estão relacionadas à corrosão, manuseio diário dos equipamentos e limpeza agressiva, resultando em possíveis rupturas dos circuitos. As emissões ocorrem, essencialmente, no final da vida útil e desativação do equipamento.

#### 4.2.2 UNIDADES CONDENSADORAS

As unidades condensadoras são encontradas em muitas lojas de conveniência e alimentos para resfriamento de uma pequena câmara frigorífica e de um ou vários expositores. Esta tecnologia pode ser considerada como um sistema de produção em massa, normalmente com compressores herméticos e, às vezes, com compressores semi-herméticos, sendo uma opção bastante adotada pelos países em desenvolvimento. Mesmo em supermercados, várias unidades condensadoras são instaladas lado a lado em salas de máquinas de pequeno porte. Elas são menos eficientes em termos energéticos quando comparadas a um sistema centralizado composto de compressores em paralelo de menor tamanho (bem projetado), no entanto, são escolhidas por razões de custo inicial, facilidade de instalação e praticidade, já que são encontradas prontas para instalação.

A capacidade de refrigeração varia de 1 kW a 20 kW, principalmente para a média temperatura. A carga de fluido frigorífico varia de 1 kg a 5 kg para HCFCs ou HFCs. O HCFC-22 ainda é o fluido mais utilizado nos EUA e em todos os países em desenvolvimento. Os novos equipamentos estão aptos para usar os fluidos HCs e CO<sub>2</sub>, embora os fluidos HFC-134a, HCFC-22 e HFC-404A sejam os mais utilizados. Na Europa, devido à regulamentação da União Europeia (U. E.), Regulation (EC) nº 2037/2000, a mudança do HCFC-22 para o HFC-404A, e às vezes para o HFC-507A, iniciou-se a partir de 2000. O HFC-404A é a principal escolha por razões de custo, pois as unidades condensadora que utilizam este fluido são mais baratas em comparação com as unidades de HFC-134a, com a mesma capacidade frigorífica, devido ao menor tamanho do compressor. No entanto, para clima quente e para aplicações de média temperatura, o HFC-134a é mais utilizado devido ao seu melhor desempenho energético em altas temperaturas comparado com o HFC-404A.

As unidades condensadoras são projetadas como sistemas de expansão direta, e assim os impactos ambientais estão relacionados com a escolha do fluido e com a eficiência energética.

O que é descrito para equipamento autônomo é igualmente verificado para as unidades condensadoras, quando estas substituem grandes compressores. Como mencionado anteriormente, esta solução não é eficiente em termos de consumo de energia e é escolhida devido às razões de custo de investimento inicial e disponibilidade. Além disso, as unidades condensadoras são produzidas em grande escala nos países em desenvolvimento, competindo diretamente com os sistemas que utilizam compressores em paralelo (racks) de menor porte.

### 4.2.3 Sistemas Centralizados

Para grandes supermercados, o projeto dominante é o chamado sistema centralizado onde todos os racks de compressores estão instalados em uma sala de máquinas simples. Este conceito tem levado à instalação de até vários quilômetros de tubulação, contendo fluido na fase líquida circulando da casa de máquinas para a área de vendas e fluido frigorífico na fase vapor retornando da área de venda para a sala de máquinas. A capacidade dos sistemas centralizados pode variar de 20 kW para mais de 1 MW, conforme o tamanho do supermercado.

As capacidades de refrigeração são geradas por racks de compressores independentes em dois níveis principais de temperaturas de evaporação:  $-40\text{ °C}$  /  $-35\text{ °C}$  para alimentos congelados (e sorvetes); e  $-15\text{ °C}$  /  $-10\text{ °C}$  para alimentos resfriados (leite, carne, etc.). Os racks de baixa temperatura representam cerca de 10% a 30% das capacidades de refrigeração e os racks de média temperatura representam cerca de 70% a 90% da capacidade total de refrigeração. Em termos de consumo de energia, os racks de baixa temperatura representam cerca de 20% a 35% do consumo total de energia, devido à baixa eficiência energética relacionada com o nível de temperatura. As cargas de fluido frigorífico estão relacionadas com a capacidade de refrigeração e layout da loja. Para grandes supermercados (área de vendas maior que  $3.000\text{ m}^2$ ), com os atuais sistemas de expansão direta centralizados, a carga de fluido varia de 800 kg a 2 toneladas.

A recuperação de calor para realizar o aquecimento da loja requer tipicamente uma válvula de quatro vias para cada circuito de condensação e também trocadores de calor dedicados, a fim de recuperar a capacidade de condensação durante a estação quente; esta energia é normalmente liberada para o ambiente por meio dos condensadores resfriados a ar. Este projeto é bastante utilizado em regiões frias nos EUA e em alguns países europeus. O circuito é mais complicado e a carga de fluido é superior em pelo menos 20%. Esta opção técnica tem que ser estudada em termos do retorno do investimento, nível das emissões de fluido e manutenção.

Para climas moderados e quentes esta opção não é selecionada devido à complexidade e a baixa necessidade de aquecimento que prejudicam o retorno sobre o investimento. Outros projetos mais



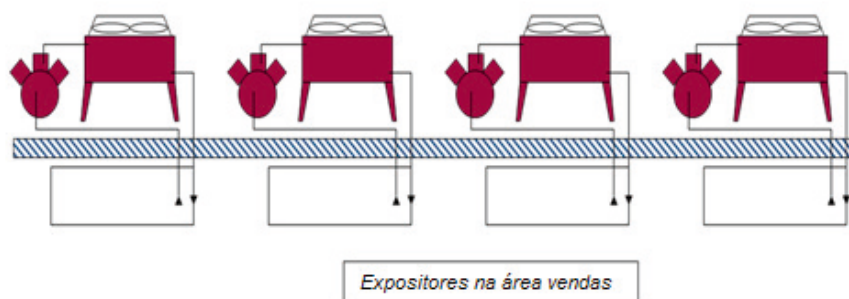
simples são encontrados na Europa, especialmente nos países do norte, onde a água quente é produzida pelo dessuperaquecimento do fluido refrigerante antes de entrar no condensador. Um conceito de projeto de sistema usados em pequenos supermercados integra o sistema de resfriamento/aquecimento da loja com o sistema de refrigeração, fazendo um exemplo interessante de uma aproximação holística para o gerenciamento de energia.

A fim de simplificar a manutenção do atual projeto centralizado, a maioria das empresas comerciais, exceto no Japão, optou por utilizar o mesmo fluido para os dois níveis de temperatura. Esta escolha é questionável porque a título de exemplo o R134a ou R407C e R717 são mais eficientes em média temperatura em comparação com o R404A e, ao contrário, o R404A e CO<sub>2</sub> são fluidos mais eficientes em baixa temperatura. Como sempre, a concepção do sistema define a eficiência energética efetiva e, então, a eficiência do projeto pode ser encontrada, mesmo ao se utilizar um fluido menos eficiente. No entanto, em termos de escolha do fluido refrigerante, pode-se ter em mente que os fluidos refrigerantes podem ser diferentes para média temperatura e para baixa temperatura dando um maior número de opções técnicas quando impactos ambientais dos fluidos refrigerantes têm de ser limitado.

Uma das principais consequências de fazer escolhas diferentes para os fluidos refrigerantes dedicados à baixa temperatura e média temperatura é que o CO<sub>2</sub> pode ser a escolha preferida para a baixa temperatura em um projeto em cascata. A escolha para média temperatura ainda está em avaliação pelos países desenvolvidos e depende de questões ligadas ao aquecimento global, custos e facilidade de uso. Em paralelo, com a avaliação do fluido refrigerante, as opções tecnológicas foram desenvolvidas há quase 15 anos, a fim de reduzir a carga do fluido a partir da utilização de sistemas indiretos e sistemas distribuídos.

#### 4.2.4 Sistemas Distribuídos

Esta técnica alternativa tem sido estudada e aplicada desde 2000. O conceito consiste em instalar compressores próximos dos expositores refrigerantes ou próximo da área de vendas, conforme mostrado na figura 4.3.



**Figura 4.3 - Sistema distribuído em que um único sistema de refrigeração possui capacidade frigorífica para atender a uma série de expositores.**

Este projeto é mais prático para o layout típico dos supermercados dos EUA, onde a maior parte dos expositores de média temperatura é instalada perto das paredes e não nos corredores, como é habitual na Europa. O modelo de referência do sistema distribuído integra condensadores à água numa caixa à prova de som, com o (s) compressor (es). A água, usada como um líquido de refrigeração nos condensadores, é resfriada geralmente nos “*dry-coolers*” montados no teto.

A carga de fluido frigorífico pode ser reduzida em mais de 50%, podendo chegar a 75%. As taxas de fugas são reduzidas devido à diminuição das uniões. A eficiência energética desse sistema tem que ser cuidadosamente analisada. Ganhos energéticos podem ser obtidos devido à redução do comprimento da tubulação, o que permite reduzir as perdas de pressão. Entretanto, como os compressores são menores, a eficiência energética é geralmente menor. Por outro lado, uma diferença adicional de temperatura é criada quando se utiliza condensadores resfriados à água que dissipam o calor para os “*dry-coolers*” resfriados a ar. A complexidade da comparação entre a linha de base (sistema centralizado) e o novo sistema de distribuição é maior quando se muda de fluido frigorífico (HFC, HCs, ou CO<sub>2</sub> em comparação com o R22), assim uma grande variação de desempenhos pode ser encontrada na literatura técnica. Sistemas distribuídos ainda não são uma opção generalizada e são principalmente instalados em novos supermercados dos EUA com HFC.

Destaca-se que o conceito de sistema distribuído indireto foi desenvolvido no Reino Unido. O sistema utiliza hidrocarboneto como fluido frigorífico e um fluido intermediário para transferência de calor dos evaporadores dos expositores.

#### 4.2.5 Sistemas de Expansão Indireta

No Brasil, os sistemas indiretos representam uma parcela moderada do mercado de novas instalações, em substituição aos sistemas de expansão direta centralizadas, principalmente para supermercados de médio e grande porte. Esta opção foi desenvolvida na Europa a partir de 1995 e se expandiu para o resto do mundo, inicialmente de forma lenta. Desde 2006, várias redes de supermercados dos EUA decidiram por instalar sistemas indiretos. O motivo da mudança é a significativa redução das cargas de fluido (50% a 85%) e a melhor contenção do fluido. No Brasil, esse tipo de aplicação se tornou notória em meados de 2002.

Os HCs (HC-290 ou HC-1270) e CO<sub>2</sub> são utilizados como fluidos primários do sistema de refrigeração e ficam totalmente confinados no sistema da sala de máquinas. Devido ao elevado calor latente de evaporação e a baixa densidade do líquido, a carga da amônia (NH<sub>3</sub>) pode ser de 10% da carga de HFC habitual. Tais sistemas devem ser instalados em salas de máquinas especiais, com a utilização de segurança adequada, que proporcione elevadas taxas de ventilação em caso de fugas significativas.

O mesmo se aplica aos HCs com carga tipicamente de 10% do sistema direto com HFCs. Por razões de segurança, os circuitos de refrigeração devem ser separados em vários circuitos independentes para limitar a carga de fluido de cada sistema.

Os sistemas indiretos bem projetados podem ser tão eficientes quanto os sistemas diretos, devido à melhor troca de calor nos evaporadores, mas o fluido de transferência de calor (FTC), tal como o mono-propileno-glicol (MPG), precisa de cuidado especial, pois para baixas temperaturas a potência de bombeamento pode se tornar excessiva. Existem fluidos de transferência de calor alternativos com baixa viscosidade destinados às baixas temperaturas utilizando Tyfoxit, Freezium, etc. No entanto, sistemas indiretos normalmente são construídos para a faixa de média temperatura. As bombas devem ser cuidadosamente selecionadas a fim de evitar elevado consumo de energia. A tubulação para esses fluidos de transferência de calor deve ser apropriada. Atualmente se utiliza material do tipo PPR (Poli – Propileno – Reticulado).

Para sistemas indiretos, o CO<sub>2</sub> como FTC é utilizado principalmente nos expositores e câmaras frigoríficas de baixa temperatura. O CO<sub>2</sub> é parcialmente evaporado no evaporador do expositor, retorna como um fluxo de duas fases no evaporador primário na sala de máquinas, ocasião em que o CO<sub>2</sub> é completamente condensado ou “liquefeito”, e em seguida é bombeado de volta para o expositor. Esse projeto é energeticamente eficiente porque não há zona de superaquecimento na saída de cada evaporador. A única ameaça para os sistemas indiretos usando CO<sub>2</sub> são os possíveis vazamentos de toda a carga de CO<sub>2</sub> relacionada com a falta de resfriamento provocada por algum incidente no sistema de refrigeração. A pressão do CO<sub>2</sub> aumenta progressivamente com a falta de resfriamento e está relacionada com a temperatura do circuito. Se a válvula de segurança estiver ajustada para pressões entre 2,5 Mpa a 30 Mpa (o que é habitual), a abertura da válvula ocorrerá quando a temperatura da parte mais fria do sistema ficar em torno de – 5 °C, provocando a emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

De modo geral, os sistemas indiretos estão interligados a todos os elementos do sistema de refrigeração, que no caso de falha significativa conduz a uma perda completa de refrigeração com possível perda dos alimentos armazenados. O atual sistema centralizado, com a utilização de múltiplos racks, oferece a possibilidade de limitar o incidente a um único do rack, proporcionando resfriamento complementar durante o reparo.

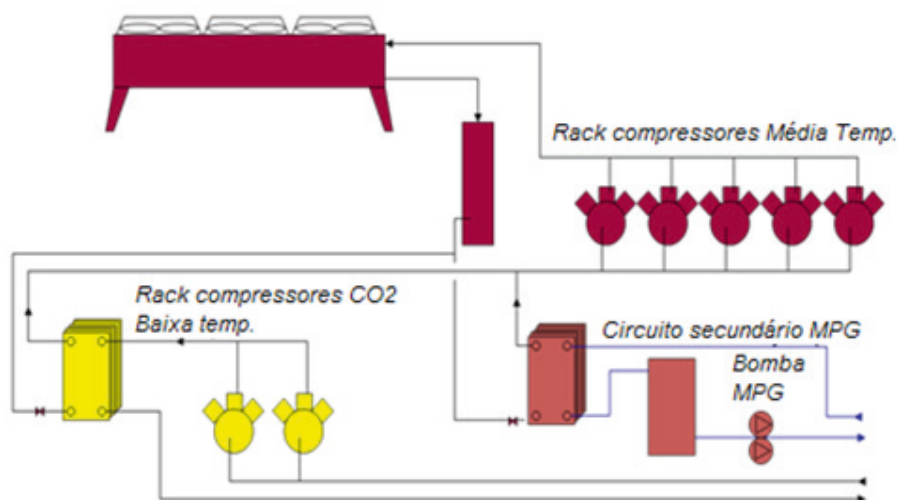
Na Suécia, a regra de limitação de carga tem conduzido a um projeto similar para sistemas indiretos, com a utilização de múltiplos racks de sistemas de refrigeração individuais com todo resfriamento interligado pelo mesmo circuito indireto. Até 20 racks instalados podem ser encontrados nos grandes supermercados suecos.

Um inconveniente dos sistemas indiretos está relacionado ao isolamento da tubulação, a fim de evitar a condensação da umidade e formação de gelo. As válvulas e bombas podem apresentar dificuldades para um isolamento eficiente e podem formar blocos de gelo com água pingando continuamente. Além disso, a quantidade de fluido de transferência de calor usado em média temperatura é enorme

(várias toneladas métricas), sendo os vazamentos difíceis de diagnosticar, especialmente nos expositores. Todos os cuidados aplicados aos sistemas indiretos devem ser utilizados para melhoria dos projetos.

#### 4.2.6 Sistemas Cascata e Híbridos

A hibridação entre os sistemas diretos e indiretos podem ser encontradas nas técnicas atuais de projeto. Um exemplo é mostrado na figura 4.4, com um custo adicional limitado, se houver.



**Figura 4.4 - Sistema híbrido que compreende um sistema em cascata com CO<sub>2</sub> no lado de baixa temperatura e um sistema secundário para a média temperatura.**

Neste sistema, o CO<sub>2</sub> não é mais um fluido de transferência de calor, mas um fluido frigorífico utilizado em cascata. A concepção geral consiste num rack de compressores de baixa temperatura com CO<sub>2</sub> trabalhando entre uma pressão de evaporação de 1,2 MPa (temperatura de evaporação cerca de -35 °C) e uma pressão de condensação de 2,5 MPa (temperatura de condensação a -12 °C), possivelmente 3 MPa (temperatura de condensação a -5,5 °C), e assim mantendo a tubulação e os componentes abaixo da pressão limite de 2,5 Mpa ou 3 MPa, que são os limites das atuais tecnologias. Como consequência, os custos são semelhantes entre os sistemas em cascata com CO<sub>2</sub> e com HFC. Para lojas maiores (acima de 2500 m<sup>2</sup> de área de vendas), o uso do CO<sub>2</sub> em sistema cascata é mais eficiente, devido à redução do custo com as tubulações que possuem menor diâmetro.

Em um sistema híbrido, a condensação do CO<sub>2</sub> do estágio de baixa temperatura é feita pela troca de calor com o fluido de transferência de calor utilizado na média temperatura ou pela evaporação do fluido frigorífico de média temperatura em um evaporador e condensador como mostrado na figura 4.4, de modo que o calor do sistema com CO<sub>2</sub> é dissipado no estágio de média temperatura e, em seguida, ao ar livre pelo sistema de compressão a vapor de média temperatura. Este conceito foi

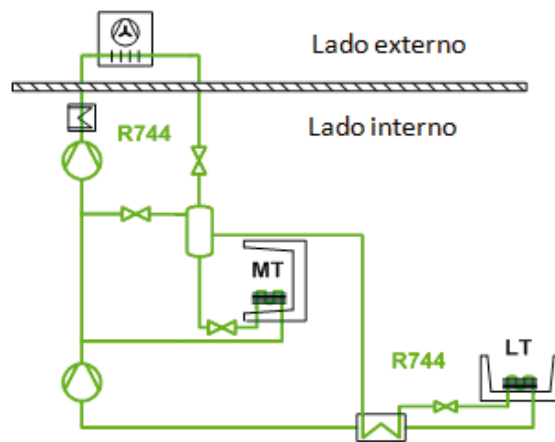


adotado pelos supermercados de grandes porte e é utilizado por atender os mesmos custos iniciais em comparação com os sistemas diretos com R22 e R404A.

Outra variação é a utilização de um circuito FTC de alta temperatura, que é alimentado com unidades de condensação resfriadas a água posicionadas com os expositores de média e baixa temperatura e próximos das câmaras frigoríficas. Isto ajuda a minimizar a carga de fluido refrigerante dentro da área de vendas permitindo assim o uso de HCs.

#### 4.2.7 Sistemas Booster de Dois Estágios com Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

O projeto mais atualizado de sistemas de refrigeração com CO<sub>2</sub> utiliza o mesmo fluido, tanto para baixa como para média temperatura. Um projeto comum é descrito na figura 4.1, outro é apresentado na figura 4.5 com os compressores de baixa temperatura em cascata com os de média temperatura. Este tipo de projeto está se tornando cada vez mais popular na Europa Central e Norte, bem como na América do Norte, no qual apresenta menor consumo de energia em comparação com os habituais sistemas centralizados.

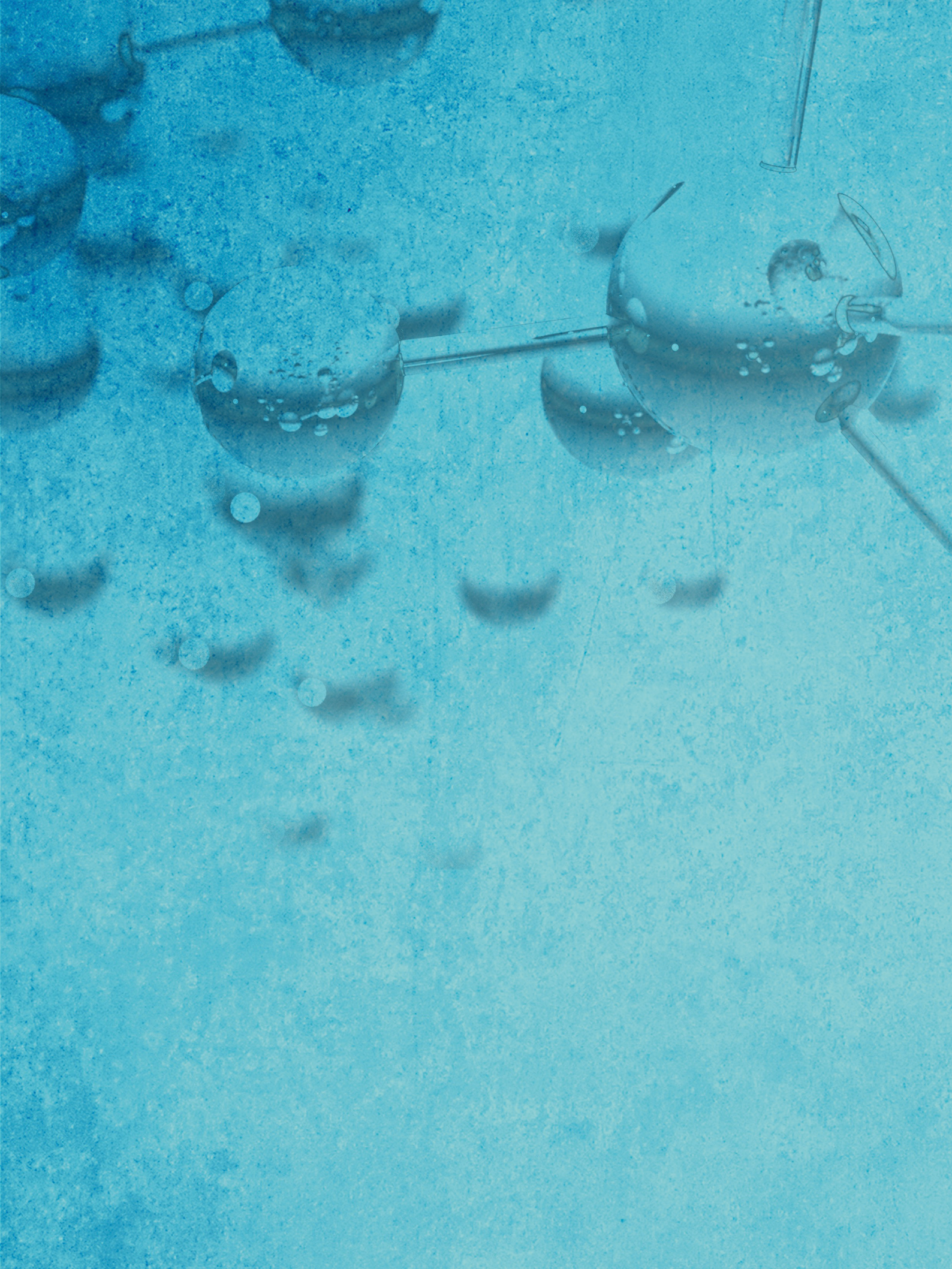


**Figura 4.5 - Sistema de CO<sub>2</sub> com único fluido refrigerante.**

Para altas temperaturas ambientes, o CO<sub>2</sub> não é mais condensado no condensador externo resfriado a ar, devido à sua baixa temperatura crítica (31,1 °C). A eficiência energética pode ser menor do que a de um sistema com R404A, quando comparado na operação transcritical, razão pela qual este tipo de sistema somente tem sido instalado em lugares de clima temperado.









The background of the slide is a textured blue color. On the left side, there are faint, semi-transparent images of laboratory glassware, including a round-bottom flask and a beaker. In the bottom right corner, there is a large, stylized number '5' in a light green color.

# Componentes do Sistema de Refrigeração com Fluidos Frigoríficos Naturais



O sistema básico de refrigeração com compressão a vapor utilizando fluidos frigoríficos naturais não é diferente do sistema convencional com R22 ou R404A. Os componentes são similares em relação ao tamanho, porém com variações da capacidade dependendo da temperatura de operação saturada de sucção. A principal diferença entre um sistema com fluido frigorífico natural e outro com fluoro-carbono são as pressões de operação. Por exemplo, o  $\text{CO}_2$  opera com pressões muito mais elevadas comparadas aos sistemas com R22 ou R404A.

Os principais componentes dos sistemas de refrigeração com  $\text{CO}_2$ , HCs e  $\text{NH}_3$  são o compressor, separador de óleo, condensador, tanque de líquido, válvula de expansão e evaporador. Entretanto, existem outros componentes como a própria tubulação do sistema, filtros, válvulas, visores de líquido, bombas de circulação, sistema de controle de nível de óleo dos compressores, resfriadores de óleo, intercambiador de calor, dessuperaquecedor, entre outros. Todos os componentes do sistema de refrigeração devem ser adequadamente dimensionados e instalados, além de testados antes de sua operação. É essencial que os componentes, inclusive tubulações, sejam devidamente sinalizados e identificados. Recomenda-se que todos os sistemas sejam identificados com o tipo e a quantidade de fluido frigorífico e o óleo aplicado, devendo esses dados constar na placa de identificação de cada equipamento.

Condensadores, compressores, vasos, evaporadores e bombas devem estar equipados com válvulas de alívio de pressão. Os compressores devem ter controle de baixa pressão e dispositivo de limitação de pressão. As tubulações devem ser apropriadas para cada tipo de fluido. Por exemplo, para a amônia pode ser utilizada tubulação de ferro ou aço; já o zinco ou cobre são proibidos. No caso do  $\text{CO}_2$  e dos HCs podem ser utilizadas tubulações de cobre, ferro ou aço. Deve-se respeitar sempre os limites de pressão máxima de trabalho de cada tipo de fluido.

Na aplicação com  $\text{CO}_2$  recomenda-se instalar válvula de segurança nos lados de alta e baixa pressão do sistema, e para aplicação em cascata recomenda-se utilizar válvulas com pressão de 25 bar no lado de baixa e 40 bar no lado de alta. O alívio de pressão de  $\text{CO}_2$  ao ambiente em caso de emergência representa uma expansão abaixo do ponto triplo, resultando formação de gelo. Para evitar a obstrução pela formação de gelo, recomenda-se não instalar nenhuma tubulação adicional após a válvula de segurança. Sua instalação poderá ser no próprio rack ou fora da sala de máquina, sendo que neste caso será necessário prolongar a tubulação antes da válvula para evitar bloqueio pela formação de gelo na tubulação, conforme mostrado nas figuras 5.1 e 5.2.



**Figura 5.1 - Válvulas de segurança instaladas no rack.**



**Figura 5.2 - Válvulas de segurança instaladas fora da sala de máquinas, "sem tubulação na saída das válvulas para evitar o bloqueio por gelo".**

## 5.1 COMPONENTES DO SISTEMA ABORDANDO ASPECTOS DE DISPONIBILIDADE NO MERCADO NACIONAL E INTERNACIONAL

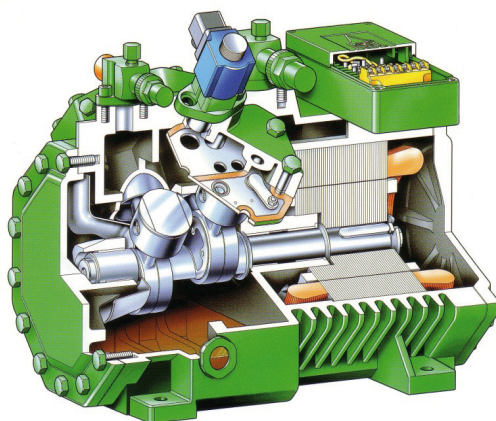
Uma grande variedade de componentes (compressores, controles, etc.) se encontra disponível no mercado nacional e internacional para o uso de fluidos refrigerantes naturais, sendo que muitos fabricantes de componentes desenvolveram seus produtos especialmente para suportarem as elevadas pressões de operação, baixas temperaturas e elevadas capacidades térmicas requeridas, como, por exemplo, as altas pressões do  $\text{CO}_2$ . Por outro lado, as pressões de operação de alguns hidrocarbonetos (R290 e R1270) e da amônia são de certa forma próximas das pressões do R22 no caso dos sistemas de refrigeração comercial, permitindo trabalhar com os compressores e componentes de uso padrão do mercado.

O Brasil conta com diversos fabricantes que oferecem uma linha completa de compressores e componentes para a utilização do  $\text{CO}_2$ , HCs e  $\text{NH}_3$ , disponibilizando inclusive peças de substituição e assistência técnica de fábrica. Há também empresas que disponibilizam uma linha completa de componentes e controles eletrônicos para a utilização desses fluidos, tais como válvulas de expansão eletrônicas, componentes frigoríficos, trocadores de calor, gerenciadores de racks, sistema de supervisão, variadores de frequência, entre outros.

Inúmeras normas nacionais e internacionais para tubulações e equipamentos estão disponíveis, tais como: ABNT NBR 13598 – Vasos de pressão para refrigeração; ABNT NBR 16069 -Segurança em sistemas de refrigeração; e ASTM B280 – Tubulação de cobre sem costura para refrigeração. No caso da aplicação do  $\text{CO}_2$  como fluido refrigerante, como regra geral, pode-se considerar os componentes projetados para os sistemas com R410A pelo fato dos níveis de pressão serem similares, principalmente na condição subcrítica. Entretanto, deve-se assegurar que os materiais utilizados nas juntas

mecânicas, os metais e outros componentes, sejam compatíveis com a combinação do óleo com o fluido refrigerante. Basicamente, todos os acessórios instalados em um sistema de refrigeração com  $\text{CO}_2$  deverão suportar as elevadas pressões e as baixas temperaturas de operação.

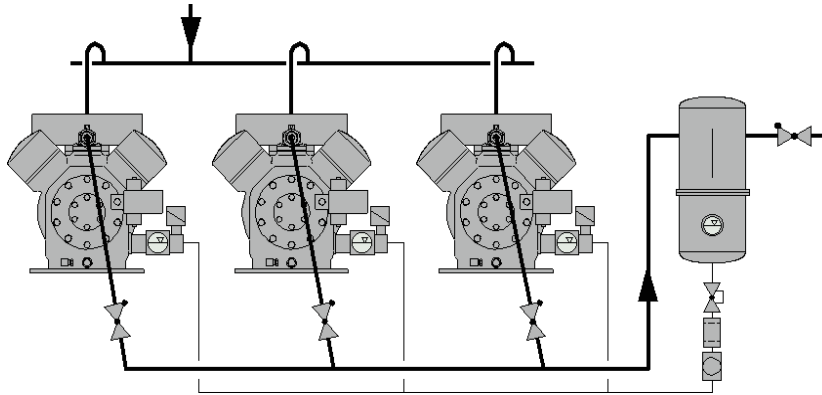
Os sistemas de refrigeração comercial para supermercados com HCs e  $\text{CO}_2$  utilizam compressores semi-herméticos. No caso dos HCs, tal como o R290, os compressores e componentes são de uso padrão iguais ao do R22, somente o óleo é diferente. Na aplicação do  $\text{CO}_2$  os compressores possuem placas de válvulas projetadas para assegurar elevadas taxas de fluxo de massa. As buchas são de Nylon impregnado (PTFE) para garantir a retenção do óleo nas superfícies de contato e melhor lubrificação sob pressões elevadas de operação com  $\text{CO}_2$ . Os motores instalados nos compressores semi-herméticos com  $\text{CO}_2$  são relativamente maiores devido à capacidade de refrigeração ser superior a do R22, R404A ou R507 - aproximadamente de 5 a 8 vezes. Entretanto, os compressores de  $\text{CO}_2$  são fisicamente menores quando comparados com os de R22, R404A ou R507. A figura 5.3 mostra um compressor de  $\text{CO}_2$  em corte utilizado.



**Figura 5.3 - Compressor semi-hermético para  $\text{CO}_2$ . (Fonte: Bitzer)**

A fim de controlar o nível de óleo dos compressores com  $\text{CO}_2$  se utiliza separador + pulmão de óleo (sistema de alta pressão) em conjunto com reguladores de nível de óleo eletrônico Traxoil, que foram desenvolvidos exclusivamente para sistemas com  $\text{CO}_2$  e podem ser instalados diretamente no visor de óleo do compressor. As figuras 5.4 e 5.5 mostram um exemplo simplificado do sistema de equalização de óleo utilizando reguladores de nível eletrônicos para os compressores com  $\text{CO}_2$ . Este sistema é muito parecido com os utilizados para substâncias halogenadas.





**Figura 5.4 - Exemplo simplificado de equalização de óleo para compressores de CO<sub>2</sub>.**

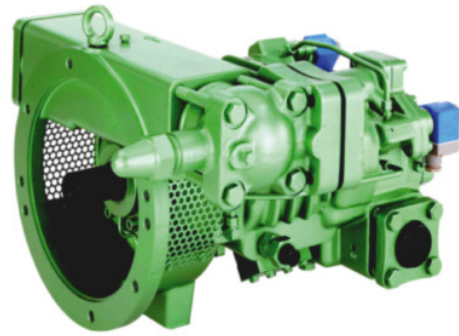


**Figura 5.5 - Detalhe do regulador de nível de óleo eletrônico-Traxoil para compressores de CO<sub>2</sub>. (Fonte: BITZER)**

Os racks com amônia utilizam somente compressores do tipo aberto livres de cobre e ligas, pois, devido à incompatibilidade desse fluido com o cobre utilizado no motor elétrico, torna-se inviável a utilização de compressores semi-herméticos. Normalmente para pequenas capacidades são utilizados compressores de pistão (alternativos), e para cargas elevadas são aplicados compressores parafuso. As figuras 5.6 e 5.7 mostram exemplos de compressores abertos a pistão e parafuso utilizados com NH<sub>3</sub>.

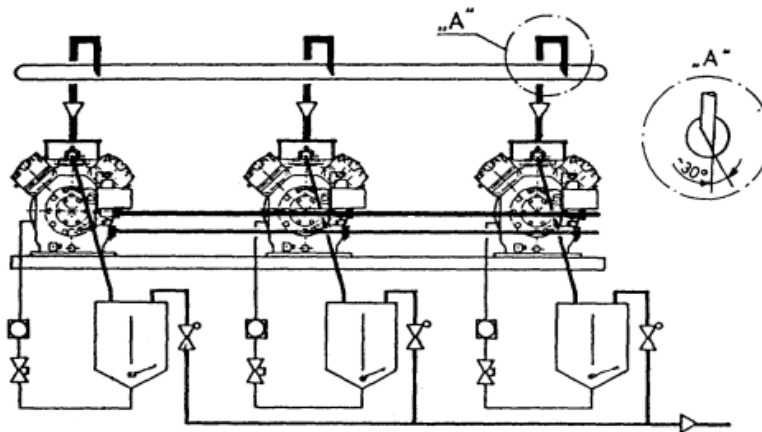


**Figura 5.6 – Exemplo de compressor aberto alternativo para NH<sub>3</sub>. (Fonte: Bitzer)**



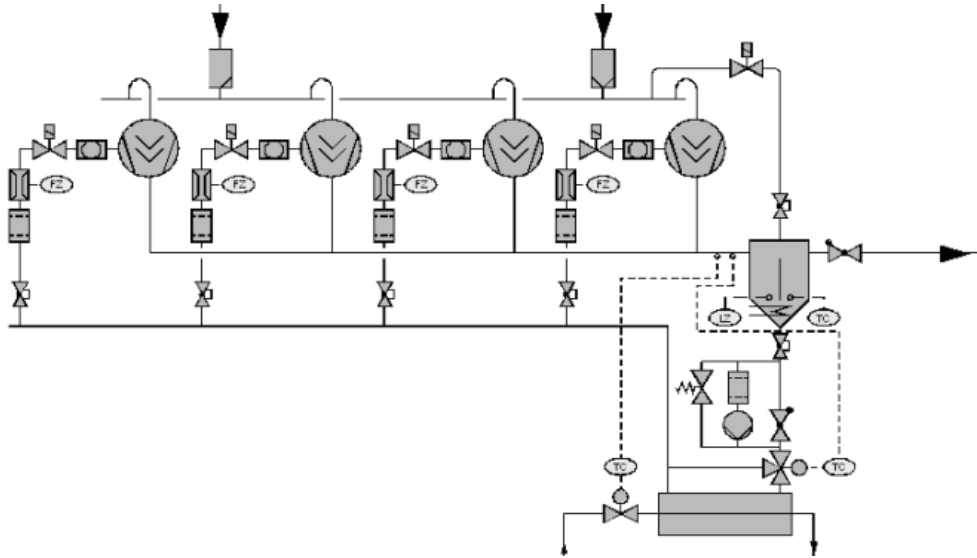
**Figura 5.7 – Exemplo de compressor aberto parafuso para NH<sub>3</sub>. (Fonte: Bitzer)**

Para controlar o nível de óleo dos compressores abertos alternativos com amônia, normalmente é utilizado um separador individual em conjunto com a equalização de óleo e gás, conforme aparece na figura 5.8.



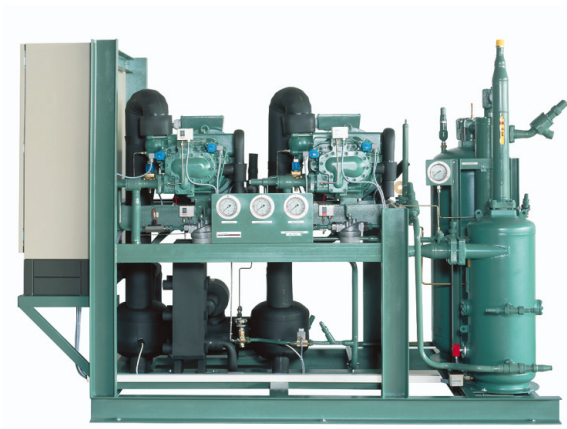
**Figura 5.8 - Exemplo simplificado do sistema de equalização de óleo para compressores abertos alternativos para NH<sub>3</sub>.**

Quando a carga térmica do estágio de alta pressão com a amônia é elevada, recomenda-se a aplicação dos compressores abertos parafuso. Esses compressores são os mais apropriados para esse tipo de aplicação, pois utilizam separadores de óleo primário e secundário (sistema inundado) e também empregam resfriadores de óleo e sistema “Economizer” para aumentar a capacidade frigorífica. A figura 5.9 mostra um exemplo simplificado de rack de compressores parafuso montados em paralelo com NH<sub>3</sub>.



**Figura 5.9 -Exemplo simplificado de rack com compressores parafuso montados em paralelo com NH<sub>3</sub>.**

A seguir são apresentadas as figuras 5.10 a 5.12, referentes às instalações de racks com NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> e R290 para supermercados:



**Figura 5.10 - Exemplo de rack com compressores parafuso para NH<sub>3</sub>. (Fonte: Compact)**



**Figura 5.11 - Exemplo de rack com compressores semi-hermético para CO<sub>2</sub>. (Fonte: Bitzer)**





**Figura 5.12 - Exemplo de rack com compressores semi-hermético para R290.**

## 5.2 FERRAMENTAS E EQUIPAMENTOS ESPECÍFICOS PARA A UTILIZAÇÃO DOS FLUIDOS FRIGORÍFICOS NATURAIS

Assim como nos compressores e componentes, existe uma grande variedade de ferramentas e equipamentos (manômetros, detectores de vazamentos, bomba de vácuo, etc.) disponível no mercado nacional e internacional para a utilização dos fluidos refrigerantes naturais. A maioria dos fabricantes de ferramentas e equipamentos desenvolveu produtos especiais que suportam as elevadas pressões de operação do CO<sub>2</sub>. No caso dos hidrocarbonetos R290 e R1270 e da amônia, as ferramentas são de uso padrão e podem ser facilmente encontradas.

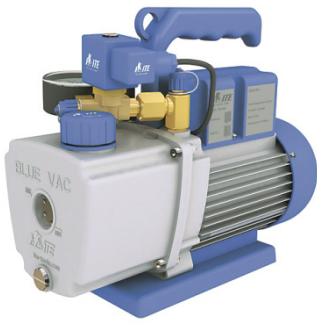
A seguir são listadas as principais ferramentas e equipamentos para os fluidos refrigerantes naturais:



**Figura 5.13 – Exemplo de conjunto de manômetro apropriado para CO<sub>2</sub>.**

### CONJUNTO DE MANÔMETROS:

Para a aplicação com HCs, os manômetros são os mesmos para os fluidos HCFCs e HFCs. No caso da amônia, os manômetros devem ser de aço inoxidável. Para aplicação com CO<sub>2</sub>, recomenda-se utilizar o mesmo manômetro do R410A que trabalha com os níveis elevados, por exemplo, na escala de alta pressão, com 55 bares, e na baixa, com 35 bar, além de usar as mangueiras originais desse manômetro para não correr o risco de ruptura. A figura 5.13 mostra um exemplo de conjunto de manômetro do R410A disponível para aplicação com CO<sub>2</sub>.



**Figura 5.14 – Exemplo de bomba de vácuo de duplo estágio.**

#### BOMBA DE VÁCUO DE DUPLO ESTÁGIO:

Existem vários fornecedores nacionais e internacionais de bomba de vácuo. Recomenda-se o uso de bomba de duplo estágio com capacidade compatível ao sistema frigorífico para obtenção de um bom nível de vácuo. A figura 5.14 mostra um exemplo de bomba de vácuo de duplo estágio disponível no mercado.



**Figura 5.15 – Exemplo de vacuômetro eletrônico.**

#### VACUÔMETRO ELETRÔNICO (PARA MEDIR NÍVEL DE VÁCUO DE 500 MICRONS):

No mercado brasileiro há uma grande oferta de vacuômetro eletrônico para medição do nível de vácuo com fluidos naturais, com diferentes marcas nacionais e internacionais. A figura 5.15 mostra um exemplo de vacuômetro bastante utilizado pelos instaladores.

#### TERMÔMETRO, SENSOR DE FLUIDOS PORTÁTIL, MULTÍMETRO (AMPERÍMETRO, VOLTÍMETRO, ETC.):

Existe uma grande oferta de termômetros digitais, sensores de fluidos portáteis, multímetros e voltímetros para realização de serviços e manutenção de sistemas com fluidos refrigerantes naturais. A maioria das ferramentas e equipamentos é de uso padrão para os fluidos HCFCs e HFCs, com exceção dos detectores de vazamentos. As figuras 5.16 a 5.19 mostram exemplos desses instrumentos.



Figura 5.16 - Exemplo de termômetro digital.



Figura 5.17 - Exemplo de sensor portátil para medir a concentração de CO<sub>2</sub>.



Figura 5.18 – Exemplo de alicate amperímetro.



Figura 5.19 – Exemplo de multímetro.

### 5.3 PROCEDIMENTOS E CUIDADOS GERAIS NAS INSTALAÇÕES DOS COMPONENTES

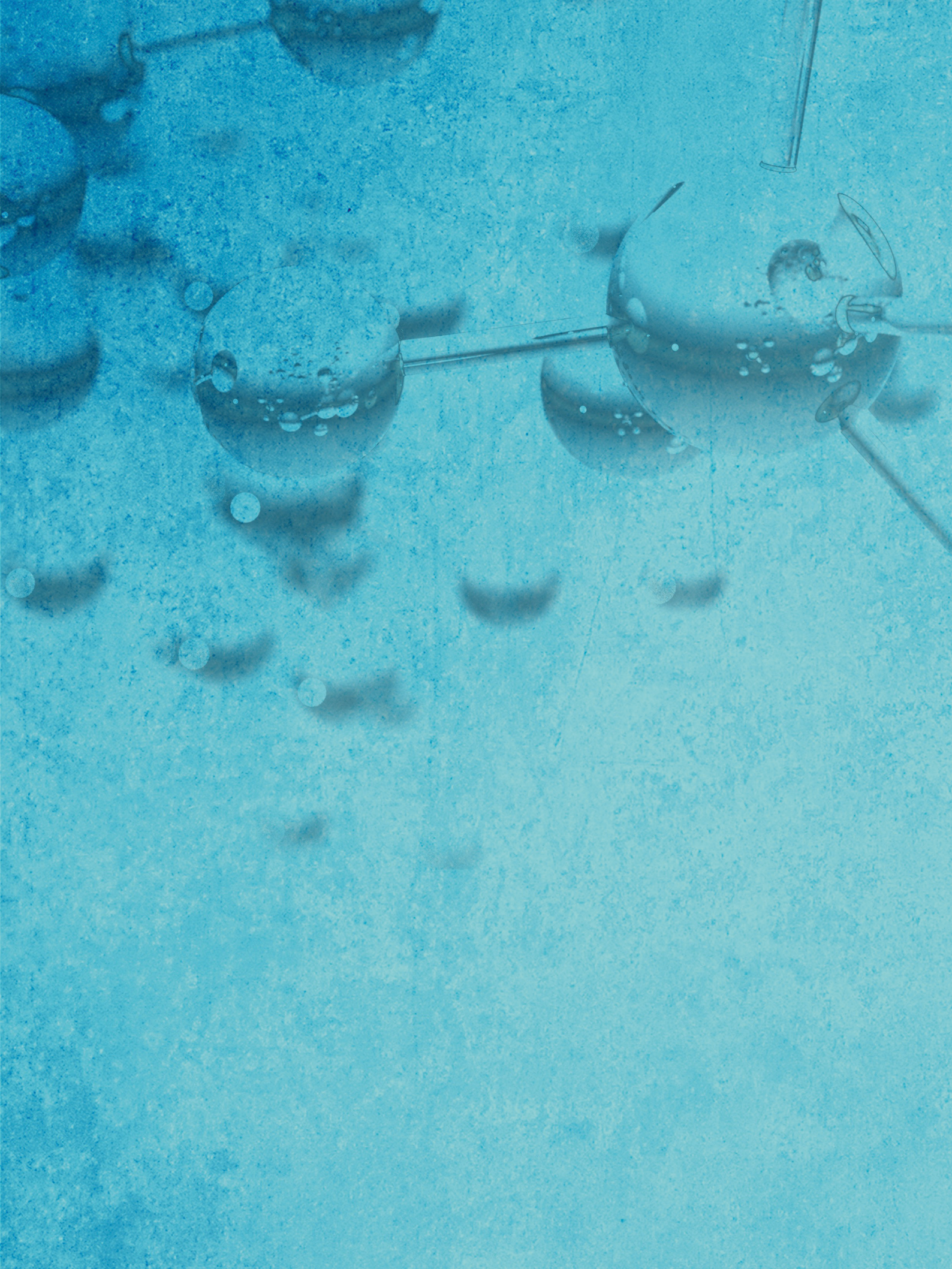
Embora os componentes para fluidos refrigerantes naturais sejam, na grande maioria, de uso padrão, recomenda-se tomar cuidado especialmente durante a instalação. O conhecimento adequado das novas tecnologias e respeito às normas de segurança são pré-requisitos fundamentais para a construção e operação dos sistemas de refrigeração com esses fluidos.

Visando à segurança e à melhoria da qualidade dos serviços prestados e evitando as fugas de fluido refrigerante para o meio ambiente, as empresas responsáveis pela montagem, instalação, operação e serviços de manutenção devem dispor de recursos humanos e técnicos de boa qualidade, principalmente no que se refere à utilização de ferramentas e equipamentos adequados no sistema de refrigeração, tais como: bomba de vácuo, detector de vazamento, máquina recolhadora de gás, cilindro de serviço, manômetro, termômetro, entre outros. Também devem dispor de técnicos de refrigeração capacitados e treinados periodicamente por instituições de ensino profissionalizantes reconhecidas ou pelas próprias empresas fabricantes dos equipamentos de refrigeração e componentes.












The background is a textured blue surface. On the left side, there are faint, semi-transparent images of laboratory glassware, including a round-bottom flask and a beaker. In the bottom right corner, there is a large, stylized number '6' in a light green color.

# Procedimentos de Instalação, Comissionamento, Manutenção e Operação



## 6.1 PROCEDIMENTOS E PRINCIPAIS CUIDADOS NA INSTALAÇÃO DOS COMPONENTES DOS SISTEMAS COM FLUIDOS NATURAIS

É bastante provável que a maioria das deficiências de operação de sistemas de refrigeração tenha origem ou na falta de cuidado ou na não utilização de procedimentos adequados de instalação. As recomendações contidas neste capítulo foram elaboradas com o objetivo de ajudar o técnico de refrigeração na instalação, no comissionamento, na manutenção e na operação de um sistema de refrigeração.

As recomendações são de caráter geral e foram elaboradas para a utilização dos fluidos naturais  $\text{CO}_2$ , HCs e  $\text{NH}_3$ . Entretanto, os procedimentos apresentados podem ser utilizados para qualquer outro tipo de fluido frigorífico.

Cuidados especiais devem ser tomados quanto à instalação da casa de máquinas, que deve estar localizada no térreo, ao nível do solo, de preferência em edificação separada, principalmente quando se tratar da utilização de hidrocarbonetos e amônia. Inexistindo essa possibilidade e havendo necessidade de se mantê-la na mesma edificação onde se realizem outras atividades, a casa de máquinas deverá ser instalada fora do prédio com o máximo de paredes exteriores possíveis. A ventilação adequada é fundamental, e para ambientes fechados o pé direito deve ser no mínimo de 4 metros, com pelo menos duas saídas de emergência. É essencial a existência de detectores de vazamento no local. No caso da utilização do  $\text{CO}_2$ , a casa de máquinas poderá ficar na própria edificação, porém deverá ser bem ventilada para dissipar o  $\text{CO}_2$  em caso de vazamentos.

Os escapamentos dos dispositivos de alívio de pressão devem ser colocados distante das portas, janelas e entradas de ar. O ideal é mantê-los acima do telhado a, no mínimo, 5 metros acima do nível do solo e a pelo menos 6 metros de distância das janelas, entradas de ar ou portas.

Os condensadores resfriados a ar deverão estar localizados de forma a assegurar a correta e eficiente ventilação, necessária para condensação. Cuidados deverão ser tomados para evitar a recirculação do ar de um condensador para o outro.

As unidades resfriadas a água deverão possuir fornecimento adequado de água para manter as temperaturas de condensação desejadas. As linhas de sucção do sistema de refrigeração deverão ser dimensionadas de forma a manter adequadas as velocidades para um eficiente retorno do óleo lubrificante.

A responsabilidade pela recepção do material deverá ser atribuída a uma pessoa competente no local de trabalho. Cada saída de material deverá ser cuidadosamente verificada junto ao conhecimento de embarque ou nota fiscal de entrega. A recepção da mercadoria não deverá ser assinada até que todos os itens contidos nos documentos de entrega sejam verificados.

Verifique cuidadosamente eventuais defeitos em todas as partes do equipamento. Qualquer falha ou defeito deverá ser comunicado ao transportador da mercadoria.

Ao desembalar produtos proceda com cuidado para evitar eventuais danos. Equipamentos pesados somente deverão ser retirados da base de transporte quando estiverem próximos da localização definitiva.

A lista de embalagem anexa a cada embarque deverá ser cuidadosamente verificada para determinar se todos os componentes e equipamentos foram recebidos. Acessórios deverão estar presos à unidade básica, para evitar perda e possível mistura com elementos de outras unidades.

### **6.1.1 Instalação Elétrica**

O suprimento de energia elétrica, tensão, frequência e sequência de fases deverão ser cuidadosamente verificados e confrontados com os dados de placa do compressor. Toda a fiação elétrica deverá ser cuidadosamente analisada de acordo com o diagrama elétrico fornecido pelo fabricante.

Para garantir uma correta instalação, verifique:

- Nivelamento dos racks e compressores;
- Fusíveis recomendados para os compressores;
- Chaves magnéticas de partida, contadores e dispositivos de proteção do motor;
- Operação do pressostato de óleo;
- Sentido de rotação e velocidade dos ventiladores e/ou bombas de água;
- Ligações elétricas ou comandos não ligados a terra.

### **6.1.2 Instalação das Linhas de Fluido Refrigerante**

É fundamental ter extremo cuidado na limpeza e desidratação das linhas de fluido refrigerante antes da operação do equipamento. Devem ser observados os seguintes procedimentos:

- Não deixar compressores e demais componentes individuais do sistema refrigerante, principalmente filtros secadores desidratados, abertos à atmosfera além do tempo necessário (máximo de um ou dois minutos);
- Usar somente tubo de cobre para CO<sub>2</sub> e hidrocarbonetos e aço carbono para amônia, devidamente limpos e, preferencialmente, com tampas nas extremidades;
- Recomenda-se o uso de filtros nas linhas de sucção e filtros secadores na linha de líquido em todos os sistemas a serem instalados em campo;

- As linhas de sucção devem possuir declive no sentido do compressor de 1 cm a cada 3 m;
- Analise a geometria das linhas em confronto com o projeto de forma a evitar problemas decorrentes de deficiência no retorno do óleo;
- Após proceder a soldagem das linhas de fluido frigorífico, um gás inerte deverá circular a baixa pressão através da linha (com aproximadamente 1 psig) para evitar a formação de óxidos no interior da tubulação. Recomenda-se o uso de nitrogênio seco;
- Para o CO<sub>2</sub> e hidrocarbonetos recomenda-se utilizar: somente solda com liga de prata apropriada (mínimo 15%) nas linhas de sucção; e líquido e solda com liga de prata de alta temperatura, somente nas linhas de descarga. Para aplicação com amônia na tubulação de aço carbono, recomenda-se utilizar solda TIG ou MIG;
- Para a tubulação de CO<sub>2</sub> e hidrocarbonetos deve-se limitar a pasta de solda ou fluxo ao mínimo requerido para evitar contaminação interna. O fluxo deverá ser colocado somente pela parte macho da conexão, nunca pela parte fêmea;
- Se eliminadores de vibração estiverem instalados nas linhas de sucção e descarga com HCs, deverão ser instalados de acordo com as recomendações do fabricante. A posição recomendada é paralela ao virabrequim e tão perto quanto possível do compressor. A instalação dos eliminadores de vibração em um plano horizontal em ângulo reto em relação ao virabrequim não é recomendada, pois fadiga resultante do movimento do compressor poderá causar rompimento do atenuador de vibração ou da própria linha de descarga;
- A instalação de duas válvulas de serviço para a evacuação do sistema é recomendada. Uma das válvulas deverá ser instalada na linha de sucção enquanto a outra na linha de líquido, no reservatório de líquido ou próximo a ele;
- Após a conexão de todas as linhas, o sistema deverá ser testado contra vazamentos. Todo o sistema deverá ser pressurizado com pressão máxima respeitando os limites máximos de cada componente do sistema. Recomenda-se fazer este teste com nitrogênio seco. O uso de um detector eletrônico de vazamento é recomendado, devido à sua alta sensibilidade na detecção de pequenas fugas;
- Como verificação complementar contra vazamentos, recomenda-se que, antes de proceder com a carga de fluido, o sistema seja evacuado a uma pressão inferior a 500 microns de Hg e deve permanecer hermeticamente fechado por um período mínimo de 24 horas. Qualquer entrada de ar no sistema provocará a diminuição na leitura do vacuômetro – ou aumento da pressão efetiva negativa. Se for verificada perda, o sistema deverá ser testado novamente e o vazamento eliminado. Somente um sistema absolutamente estanque poderá ser considerado aceitável;



- Depois de realizado o teste final contra vazamentos, as linhas de fluido frigorífico expostas as condições ambientes com temperaturas elevadas deverão ser isoladas para reduzir o efeito de absorção de calor, perdas térmicas, corrosão, etc. Recomenda-se isolar a linha de sucção, principalmente onde estiver sendo aplicado o sub-resfriamento mecânico. A linha de líquido também deverá ser isolada.

### 6.1.3 Evacuação

Uma bomba de alto vácuo deverá ser conectada em ambas as válvulas de serviço de evacuação (lados de alta e baixa pressão do sistema) mediante a utilização de tubo de cobre ou mangueiras de vácuo com diâmetro interno mínimo de 3/8". Se o compressor possuir válvulas de serviços, elas deverão permanecer fechadas. Um manômetro de vácuo capaz de registrar pressões em microns de Hg deverá ser utilizado no sistema para leitura.

Uma válvula de bloqueio deverá ser instalada entre a bomba de vácuo e a conexão do manômetro para permitir a verificação da pressão do sistema após a evacuação. Não interromper o funcionamento da bomba de vácuo quando estiver conectada ao sistema em evacuação sem antes fechar a válvula.

A bomba de vácuo deverá operar até que a pressão de 500 microns de Hg seja atingida, devendo neste momento ocorrer a "quebra" do vácuo com nitrogênio seco, injetado por meio de um filtro secador, até que a pressão do sistema seja elevada acima de "0 psig". A quebra do vácuo é sempre necessária, pois o nitrogênio seco injetado absorverá a umidade contida no sistema, que não foi removida pela bomba de vácuo. Recomenda-se repetir esta operação pelo menos duas vezes.

Abra as válvulas de serviço do compressor, evacuando completamente o sistema até 500 microns de Hg. Em seguida eleve a pressão do sistema até 2 psig com fluido frigorífico e retire a bomba de vácuo.

**IMPORTANTE:** Em nenhuma situação opere o compressor, enquanto o sistema estiver em vácuo. Risco de danos ao compressor!

#### Fundamentos sobre Evacuação e Desidratação:

Quando um sistema é evacuado, a pressão descerá desde uma atmosfera. A escala de pressão absoluta pode ser usada, pois começa com zero quando não há pressão. Costuma-se descrever a pressão pela medida em que ela está, abaixo de uma atmosfera. Ao nível do mar a pressão atmosférica corresponde a 1,01325 bar, que é igual a 760 milímetros de mercúrio (mmHg) ou a 29,9212 polegadas de mercúrio (pol.Hg).

Nos sistemas de refrigeração, a evacuação é necessária para remover o ar e a água antes de serem carregados com fluidos frigoríficos. A relação entre vácuo e o ar é simples: quanto melhor o vácuo, menor a quantidade de água e de gases incondensáveis no sistema.

O ponto de ebulição de qualquer substância é definido como a temperatura na qual a pressão de vapor é igual a uma atmosfera de pressão. Para a água, essa temperatura é de 100 °C ao nível do mar. No entanto, se a pressão diminuir, o ponto de ebulição da água também diminuirá.

A função da evacuação é baixar a pressão a um ponto em que a água ferva a uma temperatura mais baixa e assim seja mais facilmente removida do sistema.

### **Tempo de Evacuação:**

O tempo necessário para a remoção da água e do ar dependerá dos seguintes fatores:

- Dimensões do sistema;
- Quantidade de água líquida presente no sistema;
- Capacidade da bomba de vácuo usada;
- Dimensão das tubulações frigoríficas.

### **Unidades de Vácuo:**

As unidades usadas são milímetro de mercúrio e polegada de mercúrio, abaixo de uma atmosfera. Para vácuos profundos, a unidade comum é o micrão.

### **Pontos de Ebulição da Água para várias Pressões:**

A Tabela 6.1 ilustra claramente a redução do ponto de ebulição da água com a redução da pressão. Do ponto de vista prático, são necessárias pressões muito baixas para obter uma diferença de temperatura para a água em ebulição de forma a obter uma transferência de calor. Assim, pressões abaixo de 500 microns de Hg são necessárias para realizar uma boa desidratação no sistema frigorífico.

**Tabela 6.1 – Unidades de vácuo.**

Unidades de vácuo					Temperatura de Evaporação da Água	
Polegadas de Hg	mm de Hg	Lb./pol <sup>2</sup>	Torr	Mícrons Hg	°C	°F
0	0	14,7	760	-	100	212
15	380	7,4	380	-	82	179
26	660	1,9	100	-	52	125
27	684	1,4	76	-	46	115
28	711	0,95	76	-	46	115
28	711	0,95	50,8	50800	38	100
29	735	0,49	25,4	25400	26	79
29,2	740	0,4	20,8	20800	22	72
29,8	755	0,09	4,579	4579	0	32
29,99	-	0,005	0,25	250	-31	-25
29,996	-	0,002	0,097	97	-40	-40
29,999	-	0,0005	0,025	25	-51	-60

## 6.2 COMISSIONAMENTO DA INSTALAÇÃO COM FLUIDOS NATURAIS

Após completar a instalação do sistema, os seguintes itens deverão ser verificados antes de colocá-los em operação:

- Verifique as conexões e terminais elétricos e tenha certeza que estejam bem apertados;
- Observe o nível de óleo do compressor antes da partida. O nível de óleo deverá estar no centro do visor, porém poderá variar desde  $\frac{1}{4}$  até  $\frac{3}{4}$  do visor de óleo. Use somente óleo recomendado pelo fabricante do compressor;
- Retire ou afrouxe os coxins de embarque colocados embaixo do compressor. Verifique se as porcas de fixação, em compressores montados com coxins de mola, não batem contra os pés de apoio do compressor;
- Verifique os controles de alta e baixa pressão, as válvulas de controle de fluxo de água (se houver), as válvulas reguladoras de pressão, os controles de segurança, etc., regulando-os se necessário;
- Verifique a regulagem do termostato ou outro controlador de temperatura para as condições de trabalho;
- Etiquetas apropriadas ou outros meios deverão ser providenciados para indicar o tipo de fluido refrigerante usado no sistema;



- Diagramas elétricos, instruções, boletins, etc., recebidos com o compressor ou unidades condensadoras, deverão ser lidos e arquivados para referências futuras;
- Faça as conexões apropriadas e carregue a unidade com o fluido refrigerante correto. Pese o cilindro de fluido refrigerante antes da carga, mantendo um controle exato da carga de gás contida no sistema. Se o fluido for carregado no sistema pelo lado de baixa pressão, a carga deverá ser feita somente na fase de vapor. A carga com fluido líquido deverá ser feita pela linha de líquido;
- Observe as pressões do sistema durante a carga e operação inicial. Não adicione óleo quando o sistema estiver com pouco fluido refrigerante, a menos que o nível de óleo esteja perigosamente abaixo de  $\frac{1}{4}$  do visor de óleo do cárter do compressor;
- Continue a carga até que o sistema possua suficiente quantidade de fluido refrigerante para uma operação normal. Não carregue em excesso. Lembre-se de que borbulhas no visor da linha de líquido podem ser causadas tanto por restrições como por falta de fluido refrigerante;
- Observe a unidade até o sistema atingir as condições normais de operação e a carga de óleo tenha sido ajustada para manter o nível de óleo no centro do visor.

A carga de CO<sub>2</sub> nos sistemas de refrigeração é um dos pontos mais importantes e deve-se ter muito cuidado durante esta operação. Atenção especial deve ser dada ao ponto triplo do CO<sub>2</sub>, que ocorre a uma pressão de 5,2 bar. Então, caso se realize a carga de CO<sub>2</sub> na fase líquida em um sistema que estiver em “vácuo”, imediatamente haverá a formação dentro do sistema de uma “neve carbônica” no estado sólido que impedirá a continuidade da operação. Por este motivo deve-se providenciar uma carga inicial no sistema com o CO<sub>2</sub> na fase gasosa até superar o ponto triplo (5,2 bar abs). Posteriormente, pode-se continuar com a carga na fase líquida diretamente no recipiente de líquido. Devido à alta pressão que os cilindros de CO<sub>2</sub> possuem, a carga no sistema deve ser realizada por meio de uma válvula reguladora de pressão para evitar acidentes. Caso contrário, provocará uma alta evaporação do fluido na saída do cilindro. Por este motivo, recomenda-se resfriar o cilindro de CO<sub>2</sub> durante a carga com líquido com o objetivo de obter:

- Menor evaporação do líquido CO<sub>2</sub>;
- Menor aumento da pressão no sistema.

Para evitar um rápido aumento da pressão interna do sistema, recomenda-se colocar o sistema refrigerante primário em funcionamento para a condensação do CO<sub>2</sub>. Após a verificação dos itens acima, o Start Up poderá ser realizado e as condições de operação deverão ser acompanhadas.

A seguir é apresentado um exemplo de uma planilha de acompanhamento das condições de operação de um sistema de refrigeração, na qual deverão ser inseridos detalhes de identificação dos

elementos usados na instalação e demais informações pertinentes. Na Tabela 6.2 é apresentada uma sugestão de registro, contendo:

- Modelo e número de série do compressor;
- Modelo e número de série do equipamento (rack);
- Se o condensador for remoto, determinar o tipo, fabricante, modelo e dados do ventilador;
- Temperatura e pressão de operação do equipamento conforme o projeto;
- Tipo do óleo e fluido frigorífico;
- Superaquecimento (útil e total) e sub-resfriamento;
- Corrente e tensão elétrica do (s) compressor (es);
- Dados sobre os componentes individuais do sistema de refrigeração, tais como: separadores de óleo, controles de pressão, válvulas solenoide, filtros, válvulas de expansão, etc.;
- Diagrama esquemático (isométrico) das tubulações de refrigeração;
- Ajustes finais de todas as pressões, regulagens e controles de segurança.

**Tabela 6.2 – Sugestão de registro de acompanhamento de Start Up.**

PLANILHA DE ACOMPANHAMENTO DE START UP							
<b>Cliente</b>					<b>Data</b>		
<b>Obra</b>							
<b>Instalador</b>			<b>Contato</b>			<b>Telefone</b>	
<b>Equipamento</b>			<b>Data original da Instalação</b>				
Modelo Compressor 1			Nº Série				
Modelo Compressor 2			Nº Série				
Modelo Compressor 3			Nº Série				
Modelo Compressor 4			Nº Série				
Modelo Compressor 5			Nº Série				
<b>Fluido Refrigerante</b>			Carga gás (Kg)				
LEITURAS OBTIDAS							
<b>Compressor</b>			<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>04</b>	<b>05</b>
Pressão de sucção (psig)							
Temperatura de evaporação (°C)							
Temperatura de sucção (°C)							
Superaquecimento do gás de sucção (K)							
Pressão de descarga (psig)							
Temperatura de condensação (°C)							
Temperatura da linha de líquido (°C)							
Temperatura linha de líq. sub-resfriada – se houver (°C)							
Sub-resfriamento natural (K)							
Sub-resfriamento total (K)							
Temperatura de descarga (°C)							
Temperatura do cárter do compressor (°C)							
Temperatura ambiente (°C)							
Pressão de entrada bomba de óleo (psig)							
Pressão de saída bomba de óleo (psig)							
Diferencial de pressão da bomba de óleo (psig)							
Nível de óleo no visor do cárter (1/4; 1/2; 3/4)							
Nível de óleo no reservatório (1/4; 1/2; 3/4) – se houver							
Temp. da água ou ar na entrada do condensador (°C)							
Temp. da água ou ar na saída do condensador (°C)							
Tensão elétrica nominal (V)			RS				
			RT				
			ST				
Corrente elétrica nominal (A)			R				
			S				
			T				



### 6.3 MANUTENÇÃO PREVENTIVA NA INSTALAÇÃO COM FLUIDOS NATURAIS

A manutenção preventiva é essencial para o bom funcionamento de uma instalação de refrigeração com relação ao desempenho, segurança e aumento da vida útil de seus componentes. Um checklist de manutenção preventiva deverá ser preparado para o acompanhamento das condições de operação dos componentes da instalação.

No anexo 5 é apresentado um exemplo de checklist de inspeção e atividades para manutenção preventiva planejada.

### 6.4 ASPECTOS DA OPERAÇÃO DOS SISTEMAS COM FLUIDOS NATURAIS

Depois de realizada a carga de fluido frigorífico no sistema e verificada as condições normais de operação por algumas horas, o sistema poderá operar de forma automática. Em seguida deverá ser feita uma nova verificação geral do sistema, conforme apresentado abaixo:

- Verifique as pressões de sucção e descarga do compressor. Caso não estejam dentro dos limites de projeto, encontre o motivo e corrija-o;
- Verifique o visor da linha de líquido e a operação da válvula de expansão. Se houver indicação da necessidade de mais fluido frigorífico, verifique a existência de vazamentos em todas as conexões e componentes do sistema e elimine-os antes de adicionar mais fluido;
- Observe o nível de óleo do cárter do compressor por meio do visor e, caso necessário, adicione óleo até o nível chegar ao centro do visor;
- Verifique o superaquecimento útil na saída do evaporador. Válvulas com ajuste alto de superaquecimento produzem não somente pequeno efeito de refrigeração, bem como apresentam dificuldade para o retorno do óleo. Baixo valor de superaquecimento produz baixa capacidade de refrigeração, retorno de líquido no compressor e diluição de óleo nos mancais do compressor. O fluido frigorífico líquido não deverá atingir o cárter do compressor. Caso não consiga obter um controle eficiente quando o sistema estiver operando normalmente, deverá ser colocado um separador de líquido (acumulador de sucção) na linha de sucção próximo ao compressor, evitando que o fluido no estado líquido atinja o compressor;
- Mediante o uso de instrumentos apropriados, verifique cuidadosamente a tensão e corrente elétrica nos terminais do compressor, a qual poderá estar dentro de uma faixa de 10% do indicado na placa do compressor. Se constatada alta ou baixa tensão, comunique a companhia fornecedora de energia elétrica. A corrente elétrica nominal não deverá exceder o valor máximo da corrente de trabalho indicada na placa do compressor. Se o valor da corrente elétrica nominal for excessivo, determine imediatamente a causa e tome uma ação corretiva. Nos compressores trifásicos deverá ser verificado se as correntes das três fases estão

balanceadas. A maioria dos fabricantes de compressores recomenda um valor máximo de desbalanceamento de fase igual a 2%;

- Todos os motores de ventiladores de unidades condensadoras resfriadas a ar, evaporadores, ventilador de cabeçote, etc., deverão ser verificados quanto às velocidades de regime. As bases dos motores dos ventiladores deverão ser cuidadosamente verificadas quanto ao aperto e alinhamento. Se correias forem usadas, deverá ser verificada a tensão;
- As regulagens máximas permitidas para os controles de alta pressão deverão respeitar os limites de projeto do sistema;
- As regulagens recomendadas para os pressostatos de baixa pressão deverão respeitar os limites de aplicação dos compressores;
- Verifique o ajuste de início e fim dos controles de degelo e tempo deste período;
- Verifique as resistências de cárter, caso usadas;
- Verifique o ajuste dos controles de pressão de alta em operação de inverno;
- Verifique o ajuste correto das válvulas reguladoras de pressão de sucção, caso existentes;
- Ajuste, em sistemas resfriados por água, as válvulas de controle de fluxo de água para manter a temperatura desejada de condensação. Verifique a rotação correta das bombas de água.

Na operação do sistema com CO<sub>2</sub> é necessário manter as faixas de temperaturas de operação do compressor no nível recomendado. Experiência de campo mostra que o desempenho do compressor de CO<sub>2</sub> decai em temperaturas muito baixas de operação e caso estes pontos de operação não forem verificados, o resultado será uma alta concentração de fluido frigorífico com óleo no cárter do compressor ocasionando falha. Os valores de superaquecimento entre 20 K a 30 K são recomendados na sucção do compressor de CO<sub>2</sub> a fim de manter aceitáveis as temperaturas no cárter do compressor com CO<sub>2</sub>.

Para evitar uma falha prematura do compressor, um trocador de calor adicional deverá ser acrescentado entre a linha de líquido e sucção de CO<sub>2</sub> a fim de manter a temperatura do CO<sub>2</sub> na sucção do compressor entre -10 °C a 0 °C. Por meio de experiência, tem-se verificado que ao se manter uma taxa de calor excessiva no compressor pode-se acarretar alguns problemas. Devido à sua alta densidade do vapor de sucção, o CO<sub>2</sub> tem uma capacidade muito maior de absorver o calor das cargas dos compressores do que outros fluidos frigoríficos como os HCs e amônia. Este fato faz com que o compressor seja resfriado demasiadamente, ficando o cárter e os cabeçotes cobertos por gelo, significando que o óleo certamente será diluído pelo fluido frigorífico. Qualquer diluição no fluido irá gerar um efeito adverso sobre a vida útil das partes móveis dos compressores. O ideal é manter a temperatura do cárter do compressor, pelo menos, à temperatura da carcaça, sendo que a temperatura mínima de descarga deve ser mantida acima de 50 °C. O controle do superaquecimento do gás

de sucção do compressor de CO<sub>2</sub> é muito importante e necessário e poder ser obtido com a utilização de um intercambiador de calor.

Algumas formas de controle devem ser adotadas para limitar a temperatura do vapor de sucção do compressor. Sistemas de injeção de gás quente na sucção ou trocadores de calor de múltiplos estágios podem ser utilizados para fornecer o controle preciso da temperatura do vapor de sucção do compressor. A temperatura do vapor de descarga ou mesmo a temperatura de sucção podem ser utilizadas para controlar a operação de troca de calor. Pequenos valores de superaquecimento darão origem a problemas de lubrificação, enquanto que níveis elevados de superaquecimento poderão causar aquecimento excessivo do motor e falhas subsequentes, bem como temperaturas de descarga elevadas.

Na operação com hidrocarbonetos deve-se tomar muito cuidado com a alta solubilidade sobre os lubrificantes convencionais e óleos éster. Esta característica é naturalmente desejável para a circulação do óleo no sistema. Entretanto, pode resultar em uma diminuição considerável da viscosidade do óleo no compressor, principalmente com temperatura baixa do óleo e elevada pressão de sucção. Além disso, há um forte efeito de desgaseificação no cárter do compressor devido à enorme mudança de volume com a evaporação dos hidrocarbonetos. Isto resulta em grande arraste do óleo (espumação), reduzindo seu rendimento e causando um desgaste maior das partes móveis do compressor. Algumas medidas são necessárias para evitar tal problema como, por exemplo, utilizar óleo lubrificante com viscosidade básica mais elevada; utilizar carga mínima de fluido refrigerante; utilizar resistência do cárter; realizar as paradas do compressor por recolhimento do fluido refrigerante (pump down) para evitar risco de elevada pressão de sucção durante o ciclo de parada; manter o superaquecimento na sucção do compressor maior que 20 K (preferivelmente com um trocador de calor entre a linha de sucção e linha líquido); utilizar válvula de expansão com controle estável e, se possível, usar acumulador de sucção contra operação “úmida” (superaquecimento baixo) durante a partida e operação do compressor.

Os hidrocarbonetos são bons solventes para sedimentar a graxa e óleo na tubulação. Desse modo, grandes quantidades de contaminantes podem ser removidas e retornar ao compressor e aos controles. Assim, recomenda-se realizar a limpeza da tubulação e componentes para que fiquem completamente limpos, sendo que a soldagem deve ser realizada com um gás de proteção. Para cumprir as exigências de limpeza deve ser seguida a norma DIN 8964 ou outra norma compatível. Para grandes sistemas recomenda-se usar filtro na sucção para limpeza juntamente com tubulação de aço.

O uso de compressores semi-herméticos com hidrocarbonetos em sistemas fechados está sujeito às normas de proteção contra explosão para zona de perigo 2. Para compressores abertos, as normas para zona 1 são normalmente empregadas. Isto requer equipamento de proteção individual e componentes elétricos a prova de explosão.



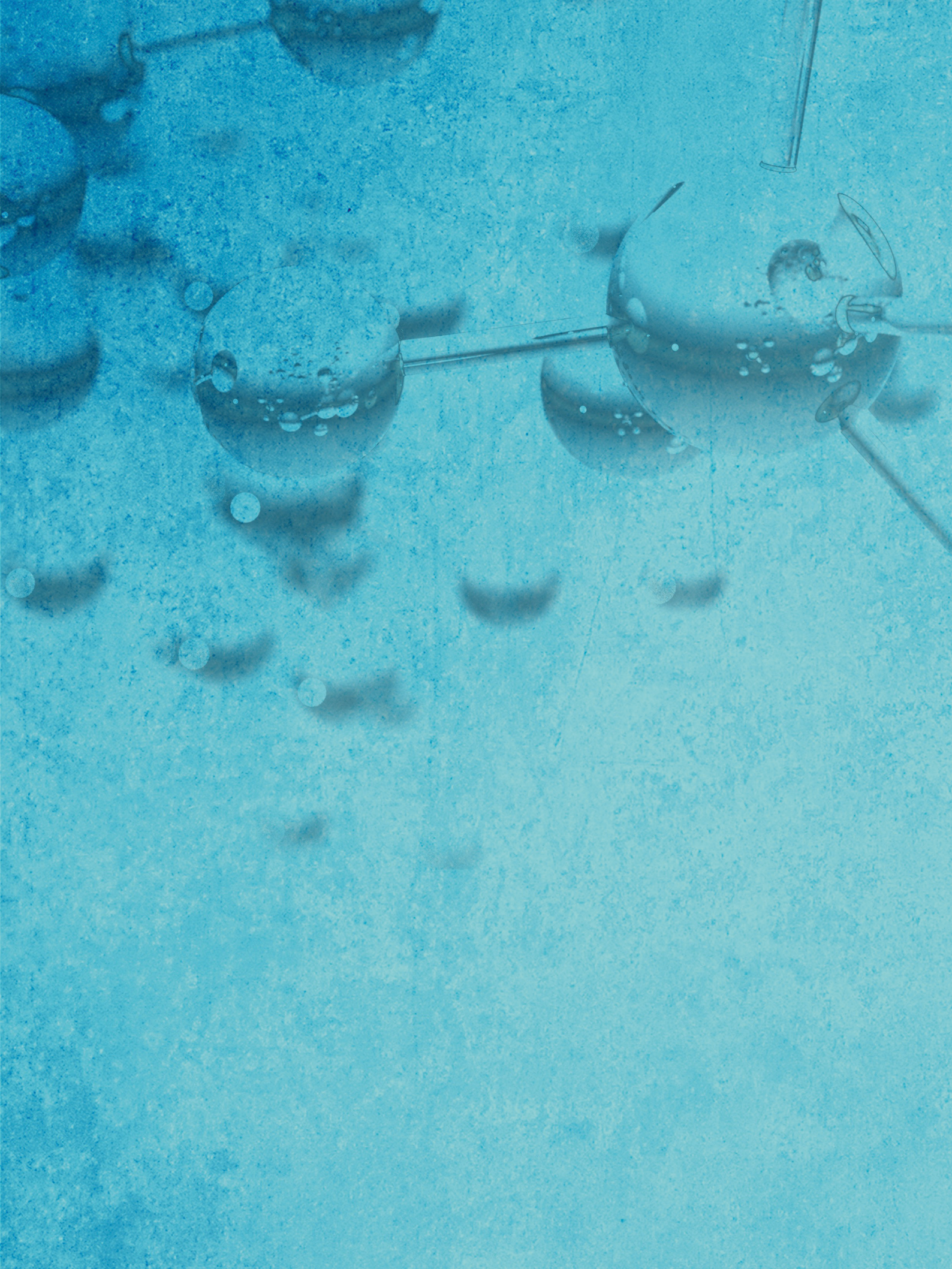
Para a elaboração de projeto, operação e manutenção de sistemas frigoríficos com fluidos inflamáveis (Grupo L3), normas especiais de segurança deverão ser aplicadas. Nessas normas está prevista a utilização de dispositivos especiais de proteção contra pressão excessiva e a adoção de características especiais para o projeto e para o arranjo elétrico. Cuidados especiais são necessários e em caso de vazamento do fluido frigorífico, deve-se prever a utilização de sistema de exaustão de modo que nenhuma mistura explosiva possa ocorrer. As regulamentações de projeto estão previstas em diversas normas, tais como: EN378 / VBG20 / esboço DIN 7003 / DIN VDE 0165 / VDE 0100.

A amônia, com suas excelentes características para o uso em sistemas de refrigeração, sofre muitas restrições de aplicação por se tratar de um fluido frigorífico com alto índice de toxicidade. Em vários países, inclusive o Brasil, há legislações que requerem uma série de cuidados desde o projeto até a operação do sistema de refrigeração que, dependendo da carga de fluido frigorífico e do local onde será instalado, pode inviabilizar a sua aplicação. Assim, para minimizar o impacto da toxicidade, a ênfase tem sido o desenvolvimento de sistemas compactos, com carga de amônia bastante reduzida. O principal conceito para a maioria das novas aplicações é a utilização combinada com outros fluidos, seja em sistema de resfriamento indireto (com os chamados fluidos secundários) seja em sistema com ciclo “cascata”, especificamente com o CO<sub>2</sub>. Por outro lado, com a introdução de outro fluido é necessário que o patamar de mínima temperatura (a temperatura de evaporação do ciclo com amônia) seja um pouco mais baixo que nos sistemas tradicionais com expansão direta, o que resulta em uma diminuição da eficiência energética do ciclo. Para compensar esta deficiência, algumas aplicações tiveram sua concepção alterada, de forma a minimizar ou neutralizar o impacto. Além disso, os componentes dos novos sistemas com amônia foram otimizados para obter uma recuperação da eficiência energética.

Até pouco tempo, havia disponível no mercado de refrigeração somente compressores do tipo aberto (alternativo e parafuso) para operação com a amônia. Atualmente, existem compressores semi-herméticos e herméticos do tipo parafuso e scroll. Como a amônia não é solúvel com óleos minerais, deve-se prever sistema de retorno de óleo automático ao compressor por meio de separadores de óleo de alto rendimento. O superaquecimento na sucção do compressor deve ser mantido na faixa de 6 K a 20 K para evitar retorno de líquido. Para aplicação em baixa temperatura de evaporação o uso de um acumulador de sucção (separador de líquido) é extremamente importante.









The background of the slide is a textured blue surface. On the left side, there are two pieces of laboratory glassware: a round-bottom flask with a stopper and a beaker. The text is centered in the upper half of the slide.

# Segurança dos Sistemas Aplicados aos Fluidos Frigoríficos Naturais





## 7.1 QUESTÕES GERAIS DE SEGURANÇA

A segurança é o aspecto mais importante que deve ser observado desde o projeto, até a instalação, operação e manutenção de qualquer instalação frigorífica, principalmente no que diz respeito à aplicação de fluidos naturais. O responsável pelo projeto deve observar as normas de segurança e procurar dispor o equipamento de modo a permitir fácil acesso para manutenção. Uma boa manutenção consiste em observar atentamente os componentes e equipamentos de uma instalação frigorífica, além de reparar ou substituir aqueles que apresentem uma operação deficiente. Muitos dos acidentes que ocorrem têm como origem a violação das normas de segurança e também a utilização de equipamentos inadequados. Em muitos casos os proprietários não têm conhecimento do estado de funcionamento da instalação, porém, é inadmissível que a segurança dos trabalhadores seja colocada em risco.

O técnico responsável pela operação do sistema frigorífico é quem corre maior risco de sofrer um acidente, que pode ocorrer durante os trabalhos de reparo. Acidentes podem ocorrer mesmo que as devidas precauções tenham sido tomadas, mesmo com a utilização de ferramentas apropriadas ou com a adoção de procedimentos corretos. Infelizmente, certos acidentes são provocados pela realização de procedimentos inadequados, que poderiam ter sido evitados pelo adequado treinamento, aspecto que está sob a responsabilidade do supervisor.

Quando equipamentos de refrigeração e ar condicionado sofrem manutenção, o profissional estará exposto a uma série de riscos potenciais. Não seguir corretamente os procedimentos ou ignorar riscos associados aos serviços, pode resultar em danos fatais ao técnico de manutenção ou às pessoas que estiverem próximas da área de trabalho.

Este capítulo traz informações sobre medidas de segurança e precaução, bem como apresenta normas que devem ser seguidas para assegurar que acidentes não ocorram. Geralmente, os danos ocasionados no trabalho com fluidos frigoríficos estão associados com a sua liberação na atmosfera ou com componentes elétricos, ferramentas, superfícies de contato e outros materiais. É importante destacar que modificações inapropriadas nos equipamentos podem resultar no aumento dos riscos para as futuras operações de manutenção.

## 7.2 EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL

Ao se trabalhar com equipamento que utiliza fluidos frigoríficos naturais, deve-se ter uma mudança de cultura na maneira pela qual se lida com equipamentos de proteção individual. Tem sido por muito tempo uma prática comum, principalmente por aqueles que trabalham no campo, o uso de qualquer tipo de roupa durante os trabalhos envolvendo fluorocarbonos. Para se proteger de ferimentos graves, deve-se seguir as recomendações de segurança do trabalho e saúde ocupacional ao se trabalhar com sistemas de refrigeração que utilizam os fluidos naturais.

Equipamentos de proteção individual apropriados deverão ser utilizados ao lidar com fluidos frigoríficos naturais. O técnico deverá ser treinado sobre a utilização de aparelhos de respiração autônoma (ABNT NBR 12543:1999 - Equipamentos de proteção respiratória - Terminologia). Durante os serviços de manutenção, recomenda-se que pessoas treinadas prestem auxílio imediato àquelas que tenham sido submetidas a altas concentrações de fluidos naturais. Por exemplo, devido à sua baixa temperatura, o dióxido de carbono pode causar danos sérios por queimadura nos olhos e na pele. A amônia poder causar asfixia e intoxicação e os hidrocarbonetos podem causar asfixia para altas concentrações e explosões em contato com o fogo. Não se deve tocar nas tubulações ou componentes do sistema para evitar ferimentos provocados pelas baixas temperaturas. Caso não haja médico disponível no local do acidente, deve-se aquecer as áreas afetadas pelo contato com o fluido frigorífico com água a uma temperatura próxima a do corpo (aproximadamente 38 °C). Nunca se deve trabalhar com fluido frigorífico, seja ele natural ou sintético, sem a utilização dos equipamentos de proteção individual.

De acordo com a Norma Regulamentadora – NR6 do Ministério do Trabalho, considera-se Equipamento de Proteção Individual - EPI todo dispositivo ou produto de uso individual utilizado pelo trabalhador destinado à proteção de riscos suscetíveis que possa ameaçar a segurança e a saúde no trabalho. Entende-se como Equipamento Conjugado de Proteção Individual todo aquele composto por vários dispositivos, que o fabricante tenha associado contra um ou mais riscos que possam ocorrer simultaneamente e que sejam suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho.

O equipamento de proteção individual, de fabricação nacional ou importado, só poderá ser posto à venda ou utilizado com a indicação do Certificado de Aprovação - CA, expedido pelo órgão nacional competente em matéria de segurança e saúde no trabalho do Ministério do Trabalho e Emprego - MTE. A empresa é obrigada a fornecer aos empregados, gratuitamente, EPI adequado ao risco, em perfeito estado de conservação e funcionamento, nas seguintes circunstâncias:

- a. Sempre que as medidas de ordem geral não ofereçam completa proteção contra os riscos de acidentes do trabalho ou de doenças profissionais e do trabalho;
- b. Enquanto as medidas de proteção coletiva estiverem sendo implantadas; e



- c. Para atender as situações de emergência.

Responsabilidades do empregador quanto ao EPI:

- a. Adquirir o EPI adequado ao risco de cada atividade;
- b. Exigir seu uso;
- c. Fornecer ao trabalhador somente EPI aprovado pelo órgão nacional competente em matéria de segurança e saúde no trabalho;
- d. Orientar e treinar o trabalhador sobre o uso adequado, guarda e conservação;
- e. Substituir imediatamente, quando danificado ou extraviado;
- f. Responsabilizar-se pela higienização e manutenção periódica;
- g. Comunicar ao MTE qualquer irregularidade observada;
- h. Registrar o seu fornecimento ao trabalhador, podendo ser adotados livros, fichas ou sistema eletrônico.

Responsabilidades do trabalhador quanto ao EPI:

- a. Usar o EPI, utilizando-o apenas para a finalidade a que se destina;
- b. Responsabilizar-se pela guarda e conservação;
- c. Comunicar ao empregador qualquer alteração que o torne impróprio para uso;
- d. Cumprir as determinações do empregador sobre o uso adequado.

As empresas devem possuir equipamentos básicos de segurança pessoal para cada trabalhador envolvido diretamente com a planta frigorífica, dispostos em locais de fácil acesso e fora da sala de máquinas. Segue abaixo uma lista de EPI recomendado pelo IIAR:

- Uma máscara panorâmica com filtro (300 ppm ou menos para amônia);
- Equipamento de respiração autônomo;
- Óculos de proteção ou protetor facial;
- Um par de luvas protetoras de borracha (PVC);
- Um par de botas protetoras de borracha (PVC);

- Uma capa impermeável de borracha e/ou calças e jaqueta de borracha;
- Proteção auricular;
- Capacete;
- Kit de primeiros socorros.



**Figura 7.1 – Exemplos de Equipamentos de Proteção Individual.**



**Figura 7.2 – Exemplo de equipamento de respiração autônomo.**



**Figura 7.3 – Exemplos de capas impermeáveis de borracha.**

### 7.3 SENSORES DE DETECÇÃO DE VAZAMENTOS

Segundo a Norma ABNT NBR 16069: Segurança em Sistemas Frigoríficos, toda sala de máquinas de refrigeração e ambientes confinados devem ter um ou mais sensores de detecção de vazamentos, localizados em uma área onde o fluido, proveniente de um vazamento, tenha maiores chances de se concentrar e, portanto, de atuar um alarme e a ventilação mecânica de emergência. Depois do alarme atuado, deve iniciar a ventilação mecânica para concentrações não superiores àquela correspondente ao limite de exposição ocupacional da Tabela 7.1. Testes periódicos de detector(es),

alarme(s) e sistemas de ventilação mecânica deverão ser realizados, de acordo com recomendações do fabricante e/ou da autoridade competente.

**Tabela 7.1 - Classificação dos fluidos frigoríficos com os grupos de segurança e limites de exposição ocupacional (média ponderada de 8 horas por dia).**

Fluido Frigorífico	Ponto Ebulição (°C)	Grupo de Segurança	PERIGO	LEO* (ppm)
R744	-78,5	A1	Asfixiante	5000
R717	-33,4	B2	Tóxico por inalação	25
R290	-42,1	A3	Asfixiante em altas concentrações	1000
R600a	-11,7	A3	Asfixiante em altas concentrações	1000
R410A	-52,2	A1	Asfixiante em altas concentrações	1000
R404A	-46,8	A1	Asfixiante em altas concentrações	1000
R507A	-46,7	A1	Asfixiante em altas concentrações	1000
R407C	-43	A1	Asfixiante em altas concentrações	1000
R134a	-26,2	A1	Asfixiante em altas concentrações	1000
R22	-40,7	A1	Asfixiante em altas concentrações	1000

Fonte: ASHRAE 34-2010.

**Obs.:** Limite de Exposição Ocupacional (LEO)

As exigências desta norma permitem uma proteção mínima para auxiliar na prevenção de danos à saúde provocada por acidentes na sala de máquinas e outros ambientes. O atendimento mínimo aos requisitos não garante necessariamente a correta administração de incidentes. Por exemplo, se apenas as etapas de proteção mínima forem tomadas, os técnicos em refrigeração ou operadores do sistema não podem entrar na sala de máquinas após soar um alarme sem a presença da equipe de segurança e emergência. Outras abordagens são possíveis, especialmente nas instalações que possuem ou preparam planos mais elaborados para atender a uma determinada emergência.

O alarme com aviso sonoro e visível requerido é para situações quando o fluido frigorífico for detectado em concentrações acima do limite de exposição ocupacional. Algumas instalações podem utilizá-lo para níveis múltiplos de alarmes ou como um instrumento que indique o nível atual do fluido frigorífico (com indicação digital externa em partes por milhão). A seleção de uma proteção respiratória apropriadas para técnicos ou operadores é uma das razões. Tal solução é perfeitamente aceitável, desde que os alarmes ou os indicadores adicionais sejam claramente distintos do principal.





**Figura 7.4 - Exemplo de detector de vazamento de CO<sub>2</sub> e alarme visual instalados em câmaras de supermercados com dióxido de carbono – CO<sub>2</sub>.**

## 7.4 RISCOS DOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

As instalações frigoríficas, por trabalharem com fluidos frigoríficos com características físico-químicas especiais e em condições de temperatura, pressão e umidade diferenciadas do habitual, apresentam riscos específicos em relação à segurança e saúde, conforme o tipo de fluido utilizado, bem como em relação as instalações e equipamentos.

As maiores preocupações estão relacionadas aos vazamentos de amônia com formação de nuvem tóxica e a ocorrência de explosões. As principais causas de acidentes tem como origem falhas no projeto com danos aos equipamentos provocados pelo calor, corrosão ou vibração, assim como a realização de manutenção inadequada ou ausência de manutenção de componentes, como válvulas de alívio de pressão, compressores, condensadores, vasos de pressão, equipamento de purga, evaporadores, tubulações, bombas e instrumentos em geral. É importante observar que mesmo os sistemas de refrigeração bem projetados podem apresentar vazamentos, caso operados e mantidos de forma precária. São frequentes os vazamentos causados por:

- Abastecimento inadequado de vasos de pressão;
- Falhas nas válvulas de alívio, tanto mecânicas quanto por ajuste inadequado da pressão;
- Danos provocados por impacto externo por equipamentos móveis, como empilhadeiras;
- Corrosão externa, mais rápida em condições de grande calor e umidade. Rachaduras internas de vasos tendem a ocorrer nos/ou próximo aos pontos de solda;
- Aprisionamento de líquido nas tubulações entre válvulas de fechamento;
- Excesso de líquido no compressor;
- Excesso de vibração no sistema, que pode levar a redução da vida útil.

A lista a seguir indica os possíveis danos associados aos sistemas de refrigeração:

a) Efeito direto de temperaturas extremas, por exemplo:

- Materiais quebradiços sob baixas temperaturas;
- Congelamento do fluido intermediário (água, salmoura ou similar);
- Tensão térmica;
- Mudanças de volumes devido às mudanças de temperatura;
- Efeitos danosos às pessoas devido às baixas temperaturas ou superfícies quentes.

b) Pressão excessiva, por exemplo:

- Aumento de pressão no condensador causada por resfriamento inadequado, ou por pressão parcial de gases não condensáveis ou por acúmulo de óleo e de fluido frigorífico líquido;
- Aumento de pressão do fluido devido ao intenso aquecimento externo, como, por exemplo: ao fazer degelo em um evaporador ou devido à alta temperatura ambiente quando o equipamento estiver parado;
- Expansão do fluido frigorífico líquido em recipiente fechado sem a presença de vapor, causado por um aumento da temperatura externa;
- Fogo externo ou aquecimento causado por objetos próximos ao sistema.

c) Efeito direto de fluido frigorífico em sua fase líquida, por exemplo:

- Sobrecarga ou “inundação” do equipamento;
- Presença de líquido nos compressores causada por golpe de líquido;
- Perda de lubrificação devido à emulsificação do óleo.

d) Fugas de fluidos frigoríficos, por exemplo:

- Fogo;
- Explosão;
- Toxicidade;
- Efeitos cáusticos;
- Congelamento da pele;
- Asfixia;
- Pânico.

## 7.5 GESTÃO SEGURA DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

Uma instalação segura de refrigeração com fluidos naturais sustenta-se em três pilares:

- Projeto apropriado, orientado por normas e códigos de engenharia;
- Operação adequada;
- Manutenção eficaz.

Elementos para a gestão da segurança e saúde em estabelecimentos que possuam esse tipo de sistemas devem conter:

- Informações de segurança do processo;
- Análises dos riscos existentes;
- Procedimentos operacionais e de emergência;
- Capacitação de trabalhadores;
- Esquemas de manutenção preventiva;
- Mecanismos de gestão de mudanças e subcontratação;
- Auditorias periódicas;
- Investigação de incidentes.

### **Medidas de proteção:**

Pontos essenciais em relação à prevenção coletiva a exposição de fluidos naturais:

- Manutenção das concentrações ambientais de fluidos naturais em níveis os mais baixos possíveis, observando as determinações da NR 9 que trata do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais, por meio da utilização de ventilação adequada;
- Implantação de mecanismos para a detecção precoce de vazamentos. O desejável é a instalação de monitores ambientais acoplados ao sistema de alarme, especialmente em locais críticos.

No caso da amônia, a IIAR (Instituto Internacional de Refrigeração por Amônia) recomenda a instalação de caixa de controle no sistema de refrigeração de emergência, que desligue todos os equipamentos elétricos e acione ventilação exaustora sempre que necessário.

Outras medidas de proteção coletiva incluem a sinalização adequada dos equipamentos e tubulações, a existência de saídas de emergência mantidas permanentemente desobstruídas e adequadamente sinalizadas e a instalação de chuveiros de segurança e lava-olhos. Sistemas apropriados de prevenção e combate a incêndios devem estar disponíveis em perfeito estado de funcionamento. O



recomendável é a instalação de sprinkler sobre cada grande vaso de amônia para mantê-lo resfriado, em caso de fogo. Instalações elétricas à prova de explosão são recomendadas.

Entre as medidas administrativas incluem-se a permanência do menor número possível de trabalhadores na sala de máquinas (somente os que realizam manutenção e operação dos equipamentos), a manutenção dos locais de trabalho dentro dos padrões de higiene ocupacional e a realização do controle de saúde dos trabalhadores expostos à amônia, enfatizando exames de olhos, pele e trato respiratório.

## 7.6 PROCEDIMENTOS DE EMERGÊNCIA

Toda a equipe de manutenção deverá estar ciente dos procedimentos de emergência para as premissas particulares onde a planta de fluido frigorífico natural estiver instalada. O pessoal de manutenção deverá estar capacitado sobre:

- Todas as saídas de emergências;
- Kits de primeiros socorros;
- Equipamento de segurança de combate ao incêndio;
- Controles elétricos e de água;
- Localização do equipamento de respiração autônoma;
- Planos e procedimentos de evacuação da área afetada pelo vazamento;
- Telefone de emergência da brigada de incêndio e do corpo de bombeiros.

O técnico responsável que for solicitado a entrar em uma área onde ocorreu ou esteja ocorrendo vazamento de fluido frigorífico natural, ou ainda solicitado a isolar o tanque de líquido ou alguma parte do sistema, deverá usar “máscara de ar” ou aparelho de respiração autônoma. As pessoas expostas aos fluidos naturais deverão receber os primeiros socorros, sendo em seguida encaminhadas para atendimento médico.

## 7.7 AVALIAÇÃO DE RISCO

A avaliação e identificação de riscos constitui um dos princípios de prevenção consagrados pela portaria nº 05, de 17 de agosto de 1992, do Ministério do Trabalho e Emprego, devendo o empregador proceder à identificação e avaliação dos riscos previsíveis quanto à concepção das instalações, locais e procedimentos de trabalho, bem como no decurso da atividade da empresa, estabelecimento ou serviço. Na sequência desta identificação e avaliação, que se traduz num processo global de estima-

tiva da grandeza do risco e de decisão sobre a sua aceitabilidade, devem-se planificar as atividades de prevenção.

No entanto, a lei não indica a metodologia a se adotar nesta identificação e avaliação de risco, o que significa que compete ao técnico superior de segurança e higiene do trabalho a escolha do método que considere adequado face à realidade que pretende avaliar. Esse trabalho deverá ser realizado em conjunto com o pessoal de manutenção, utilizando os métodos seguros de trabalho sempre que estiver em contato com um sistema de refrigeração com fluidos frigoríficos naturais. Por exemplo: quais os eventos, acidentes ou incidentes que poderão ocorrer; com que frequência eles poderão ocorrer; quais as consequências de cada evento; qual é o risco total; qual a probabilidade e sequências dos eventos e, finalmente, qual é a importância do risco calculado.

## 7.8 CAPACITAÇÃO E TREINAMENTO DE TRABALHADORES

Os sistemas de refrigeração com fluidos naturais devem ser operados por profissional qualificado com certificado de treinamento. Todos os que transitam no estabelecimento, inclusive terceiros, devem ser suficientemente informados sobre os riscos existentes e as medidas a serem adotadas em situações de emergência e de evacuação da área.

É necessária a previsão de treinamentos especiais para os que operam, inspecionam e mantêm o sistema, assim como para os trabalhadores que transitam próximos aos equipamentos e os que operam equipamentos móveis, como empilhadeiras.

Os operadores devem ter conhecimentos completos sobre o sistema, incluindo compressores, válvulas de controle automático, de isolamento e de alívio de pressão, controles elétricos e mudanças de temperatura e pressão. Eles precisam saber que partes do sistema requerem manutenção preventiva e como realizá-la de forma segura, além de como observar e avaliar o sistema para identificar sinais de problemas, como vazamentos e vibração.

## 7.9 COMPARAÇÃO DAS DENSIDADES DOS FLUIDOS FRIGORÍFICOS NATURAIS

A Tabela 7.2 mostra a densidade de alguns fluidos. Nota-se que somente a amônia é mais leve que o ar. Aqueles com densidades maiores do que o ar permanecerão nos pontos mais baixos do ambiente. Todos estes gases podem trazer graves problemas, inclusive levar uma pessoa ao óbito. Por exemplo, o dióxido de carbono pode causar asfixia em áreas confinadas e mal ventiladas. Em virtude disso, todas as salas de máquinas e áreas de trabalho que contenham gases industriais necessitam ser bem ventiladas, com renovação regular do ar. A renovação do ar no ambiente, em caso de vazamento de um gás asfixiante, pode ser feita com a utilização de um par de exaustores (um insuflando e o outro aspirando o ar no sentido oposto), com uma troca de ar a cada 10 minutos. Devido à densidade do

CO<sub>2</sub>, os monitores deverão ser instalados em áreas onde o vapor de CO<sub>2</sub> possa se acumular em maiores quantidades para não afetar a equipe de funcionários ou o público em geral.

**Tabela 7.2 - Comparação das densidades dos fluidos refrigerantes.**

Fluido Refrigerante	Nome Comum	Densidade Vapor 15 °C a 1 atm (101,3 kPa.abs) kg/m <sup>3</sup>	Densidade Relativa Ar = 1
R729	Ar	1,21	1
R744	Dióxido de Carbono - CO <sub>2</sub>	1,85	1,53
R717	Amônia - NH <sub>3</sub>	0,72	0,595
R290	Propano - C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1,87	1,55
R600a	Isobutano - C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	2,5	2,07
R410A	R32/R125	3,07	2,54
R404A	R143a/R125/R134a	4,15	3,43
R407C	R32/R125/R134a	3,66	3,03
R134a	Tetrafluoroetano - CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	4,36	3,61
R22	Clorodifluorometano - CHClF <sub>2</sub>	3,67	3,03

## 7.10 CLASSIFICAÇÃO DE SEGURANÇA DOS FLUIDOS REFRIGERANTES

Os fluidos refrigerantes são classificados de acordo com as características de toxicidade e inflamabilidade (ANSI/ASHRAE Standard 34; ABNT NBR 16069). A classificação de segurança auxilia na determinação de como o fluido poderá ser usado, ou seja, sua aplicabilidade e quantidade. A classificação de segurança é composta de dois dígitos alfanuméricos (exemplo A2 ou B1). A letra maiúscula indica a **TOXICIDADE** e o numeral a **INFLAMABILIDADE**.

Para classificação de **TOXICIDADE**, os fluidos são determinados para uma das duas classes – A e B – baseada na exposição crônica autorizada para determinadas concentrações.

- **CLASSE A (BAIXA TOXICIDADE):** Fluidos com concentração média aferida, sem efeitos adversos para quase todos os trabalhadores que possam estar expostos diariamente num dia normal de trabalho (8h) e uma semana (40h), cujo valor seja IGUAL ou SUPERIOR a 400 ppm por volume.
- **CLASSE B (ALTA TOXICIDADE):** Fluidos refrigerantes com concentração média aferida, sem efeitos adversos para quase todos os trabalhadores que possam estar expostos diariamente num dia normal de trabalho (8h) e uma semana (40h), e cujo valor seja INFERIOR a 400 ppm por volume.



**NOTA:** “ppm” é a abreviação da denominação americana “parts per million” (partes por milhão). Ela é aplicada nos casos em que se trata de concentrações mínimas; “ppm”, no sentido da palavra, significa: partes de uma substância por um milhão de partes de outra substância (proporção 1: 1.000.000).

Para classificação de **INFLAMABILIDADE**, os fluidos são determinados para uma das 3 classes – 1, 2 ou 3 – baseadas em teste de combustão e inflamabilidade.

- **CLASSE 1 (SEM PROPAGAÇÃO DE CHAMAS):** O fluido não demonstra propagação de chama quando testado sob um ar a 60 °C e pressão atmosférica padrão.
- **CLASSE 2 (BAIXA INFLAMABILIDADE):** O fluido encontra todas as 3 condições a seguir: exibe propagação de chamas quando testado a 60 °C; tem LFL > 3.5 % (Limite Inferior de Inflamabilidade) e calor de combustão < 19.000 kJ/kg.
- **CLASSE 3 (ALTA INFLAMABILIDADE):** O fluido encontra ambas as condições a seguir: exibe propagação de chamas quando testado a 60 °C, e tem LFL < 3.5%, ou calor de combustão > 19.000 kJ/kg.

A Tabela 7.3 mostra uma matriz do sistema de classificação por grupos, que compreende 6 diferentes grupos de fluidos frigoríficos.

**Tabela 7.3 - Classificação de segurança dos grupos de fluidos frigoríficos.**

		Grupo de Segurança		
		A3	B3	
AUMENTO DA INFLAMABILIDADE ↑	Maior inflamabilidade		A3	B3
	Menor inflamabilidade	Velocidade de propagação 10cm/s	A2	B2
		Velocidade de propagação ≤ 10cm/s	A2L	B2L
	Sem a propagação da chama		A1	B1
		Menor toxicidade	Maior toxicidade	
		AUMENTO DA TOXICIDADE →		

Segundo a classificação de segurança, podemos dizer que a amônia é classificada como B2 (alta toxicidade e baixa inflamabilidade), os hidrocarbonetos pertencem ao grupo dos fluidos frigoríficos A3 (baixa toxicidade e alta inflamabilidade) e o dióxido de carbono pertence ao grupo A1 igual a maioria dos fluidos frigoríficos sintético (baixa toxicidade e sem propagação de chamas). A Tabela 7.4 mostra o grupo de segurança dos fluidos naturais aplicados na refrigeração.

**Tabela 7.4 - Fluidos frigoríficos naturais (amônia, hidrocarbonetos e dióxido de carbono).**

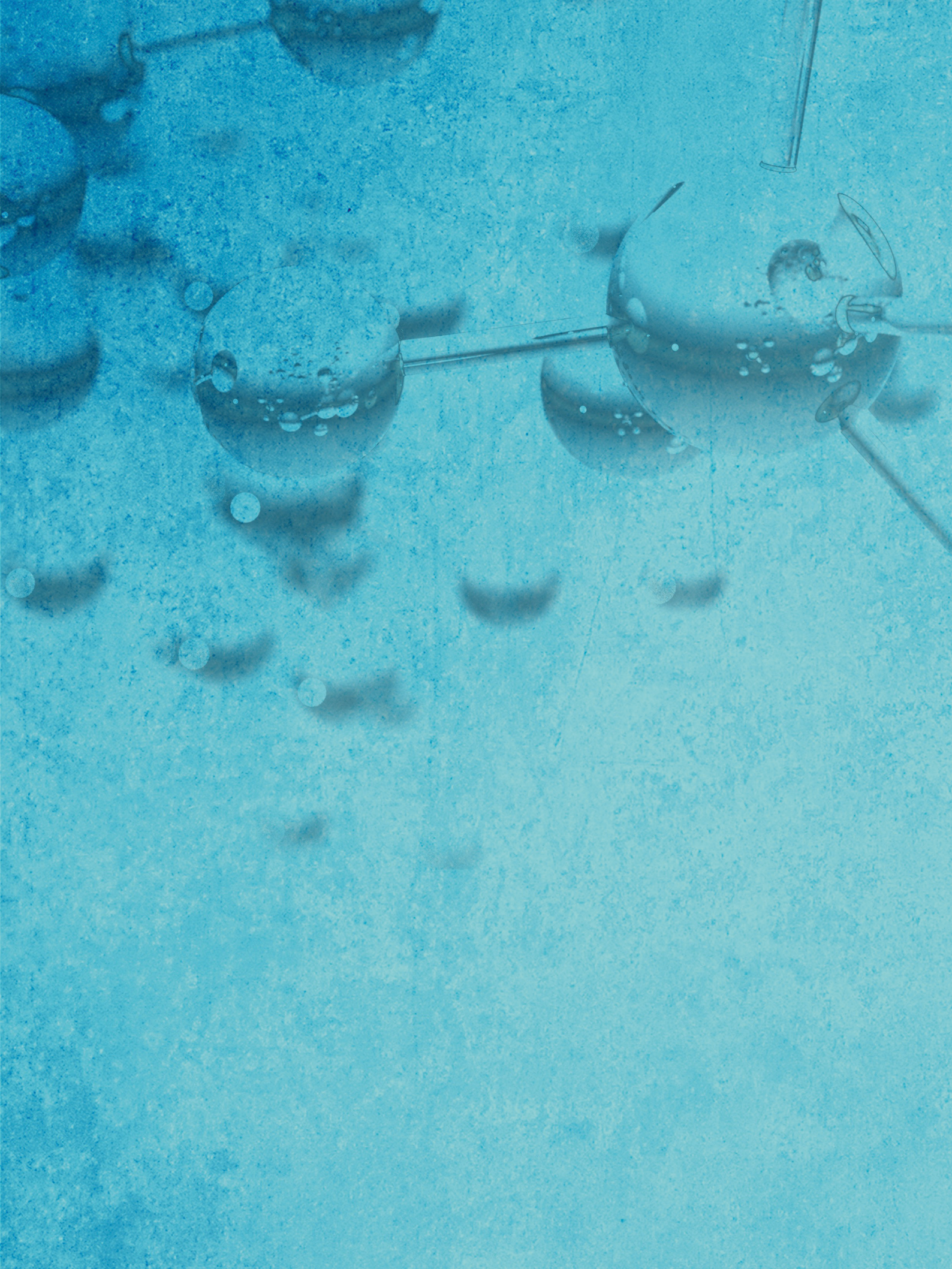
Fluido frigorífico	Fórmula química	Substituto do	PDO (R11=1,0)	GWP 100a (CO <sub>2</sub> =1,0)	Grupo de segurança	Limite prático*(kg/m <sup>3</sup> )
R717	NH <sub>3</sub>	R22 (R502)	0	0	B2	0,00035
R723	NH <sub>3</sub> /R-E170	R22 (R502)		8	B2	N/A
R600a	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	R114, R12		3	A3	0,011
R290	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	R22 (R502)		3	A3	0,008
R1270	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	R22 (R502)		3	A3	0,008
R170	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	R13, R503		3	A3	0,008
R744	CO <sub>2</sub>	diversos		1	A1	0,07

Fontes: EN 378-1:2012, ASHRAE 34:2010; BITZER Refrigerant Report A-501-17.

**Obs.:** Limite Prático representa o maior nível de concentração que uma pessoa poderia se expor, sem apresentar efeitos nocivos à saúde.









# Investimentos Iniciais e Custos Operacionais





## 8.1 PANORAMA DOS INVESTIMENTOS INICIAIS NECESSÁRIOS PARA A UTILIZAÇÃO DE FLUIDOS NATURAIS

O uso dos fluidos frigoríficos naturais também pode ser defendido do ponto de vista econômico. Eles são muito baratos, o que provoca um efeito positivo não só no custo associado a carga inicial de uma instalação, mas também nos custos operacionais devido à necessidade de reposição em função de vazamentos. Além disso, os fluidos frigoríficos naturais são eficientes, o que pode contribuir para a diminuição do consumo de energia de uma instalação. Por questão de segurança, estima-se que o custo do investimento para instalações com fluidos naturais fique em torno de 10 a 20 % mais alto do que para instalações com fluidos sintéticos, dependendo do tipo e tamanho do sistema.

Quando se compara uma instalação com CO<sub>2</sub> versus R22, com os mesmos tipos de controles eletrônicos: válvulas de expansão eletrônica; gerenciadores eletrônicos; variadores de frequência, sistema de supervisão; sistema de equalização de óleo com reguladores de nível de óleo eletrônico e separador de óleo centrífugo (pulmão e separador); etc., basicamente não há diferença no custo inicial. Há registros no Brasil de instalação de frio alimentar para supermercado em que não houve diferença no preço de aquisição entre os sistemas de refrigeração com CO<sub>2</sub> e R22, tendo sido escolhida a tecnologia de CO<sub>2</sub>. Entretanto, mesmo havendo diferença de preço entre uma instalação com CO<sub>2</sub> versus uma instalação com fluidos tradicionais, o retorno do investimento da diferença não será alto.

## 8.2 PANORAMA DOS PRINCIPAIS CUSTOS ENVOLVIDOS NA UTILIZAÇÃO DE FLUIDOS NATURAIS

A tecnologia de fluidos frigoríficos naturais aplicada aos sistemas de refrigeração comercial de supermercados ainda é recente no Brasil, o que contribui para o aumento do custo inicial. Os principais custos envolvidos estão relacionados aos: compressores (em torno de 20% mais caros em relação aos fluidos sintéticos); ao óleo lubrificante; ao sistema de segurança (sensores de detecção de vazamento e sistema de exaustão, etc.); e aos controles eletrônicos (válvulas de expansão eletrônicas, sistema de supervisão, etc.). Para aplicações com HCs e amônia devem ser considerados os custos envolvidos com o sistema de bombeamento utilizado para o fluido intermediário.

## 8.3 PANORAMA DOS CUSTOS DE OPERAÇÃO COM BASE NO CONSUMO ENERGÉTICO E OS CUSTOS DE MANUTENÇÃO DE CURTO E MÉDIO PRAZO

Sistemas corretamente projetados com fluidos naturais podem apresentar desempenho superior aos dos fluidos halogenados, principalmente com relação à questão de eficiência energética. Várias comparações entre o CO<sub>2</sub> e R22 tem comprovado na prática o elevado desempenho do dióxido de



carbono. Alguns supermercados brasileiros que utilizam o CO<sub>2</sub>, tais como o Verdemar, Condor, Giassi, Extra, Apoio Mineiro, etc., estão economizando energia elétrica.

A seguir é realizado um comparativo de consumo energético entre um sistema com CO<sub>2</sub> subcrítico versus sistemas tradicionais com R22 e R404A. As comparações foram realizadas no Centro de Tecnologia e Treinamento da BITZER Brasil, que possui quatro sistemas instalados, sendo: rack transcrito de CO<sub>2</sub>, rack subcrítico de CO<sub>2</sub>/R404A, rack de R22 e R404A. Todos os racks possuem instrumentação completa e são capazes de capturar o consumo total de energia em todo o sistema.

No trabalho foi excluída a comparação energética do rack transcrito de CO<sub>2</sub>, pelo fato de na época ainda estar sob análise. A potência consumida foi registrada em intervalos de 15 minutos e incluiu todos os elementos do sistema: motores dos compressores, aquecedores de cárter, motores dos ventiladores, resistências de degelo, ventiladores dos evaporadores, etc.

As comparações de eficiência energética foram realizadas sobre médias ao longo de um ano, onde a temperatura de condensação foi mantida na ordem dos 38 °C. As cargas térmicas entre os sistemas foram fixadas: sistema de resfriados (MT) a -10/38 °C com 20 kW e sistema de congelados (LT) a -30/38 °C com 10 kW. A Figura 8.1 mostra os equipamentos avaliados e as Tabelas 8.1 e 8.2 apresentam os resultados da análise energética. A pesquisa foi realizada no período de 2009 a 2012.

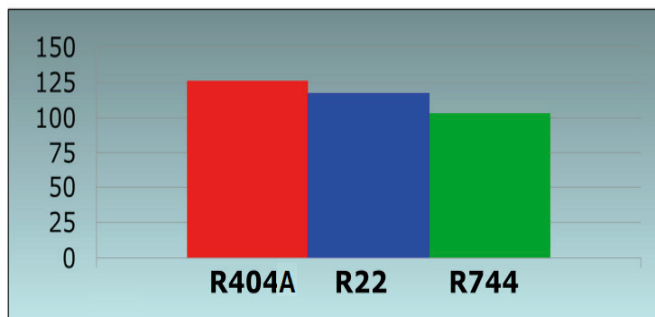


**Figura 8.1 - Detalhe dos equipamentos avaliados energeticamente. (Fonte: BITZER)**

**Tabela 8.1 - Comparação do consumo energético anual entre o sistema combinado de CO<sub>2</sub> LT - DX e MT- RL versus os sistemas tradicionais com R22 e R404A [kWh].**

Sistema subcrítico de CO <sub>2</sub> (R744)	103.234
Sistema de R404A	126.295
Sistema de R22	117.435

**Tabela 8.2 - Análise dos resultados.**



<b>Diferença [%]</b>	<b>CO<sub>2</sub> vs. R404A..... 22,30</b>
	<b>CO<sub>2</sub> vs. R22..... 13,75</b>

Em um segundo estudo de caso são apresentados os resultados de comparação do consumo energético realizados em campo, no período de julho/12 a agosto/12, pela empresa Eletrofrío, com sede em Curitiba, em dois supermercados no estado do Paraná. As cargas térmicas são parecidas e baseadas na mesma condição de aplicação e mesma configuração de sistema. A única mudança foi com relação ao fluido refrigerante de baixa temperatura para as câmaras e ilhas de congelados. A Tabela 8.3 mostra o resultado da comparação energética.

**Supermercado em São José dos Pinhais (SJP):**

Resfriados (MT): 304,68 kW, glicol a -10 °C / 45 °C;

Congelados (LT): 51,47 kW, **CO<sub>2</sub> (R744)** a -30 °C / 1 °C.

**Supermercado em Curitiba:**

Resfriados (MT): 305,13 kW, glicol a -10 °C / 45 °C;

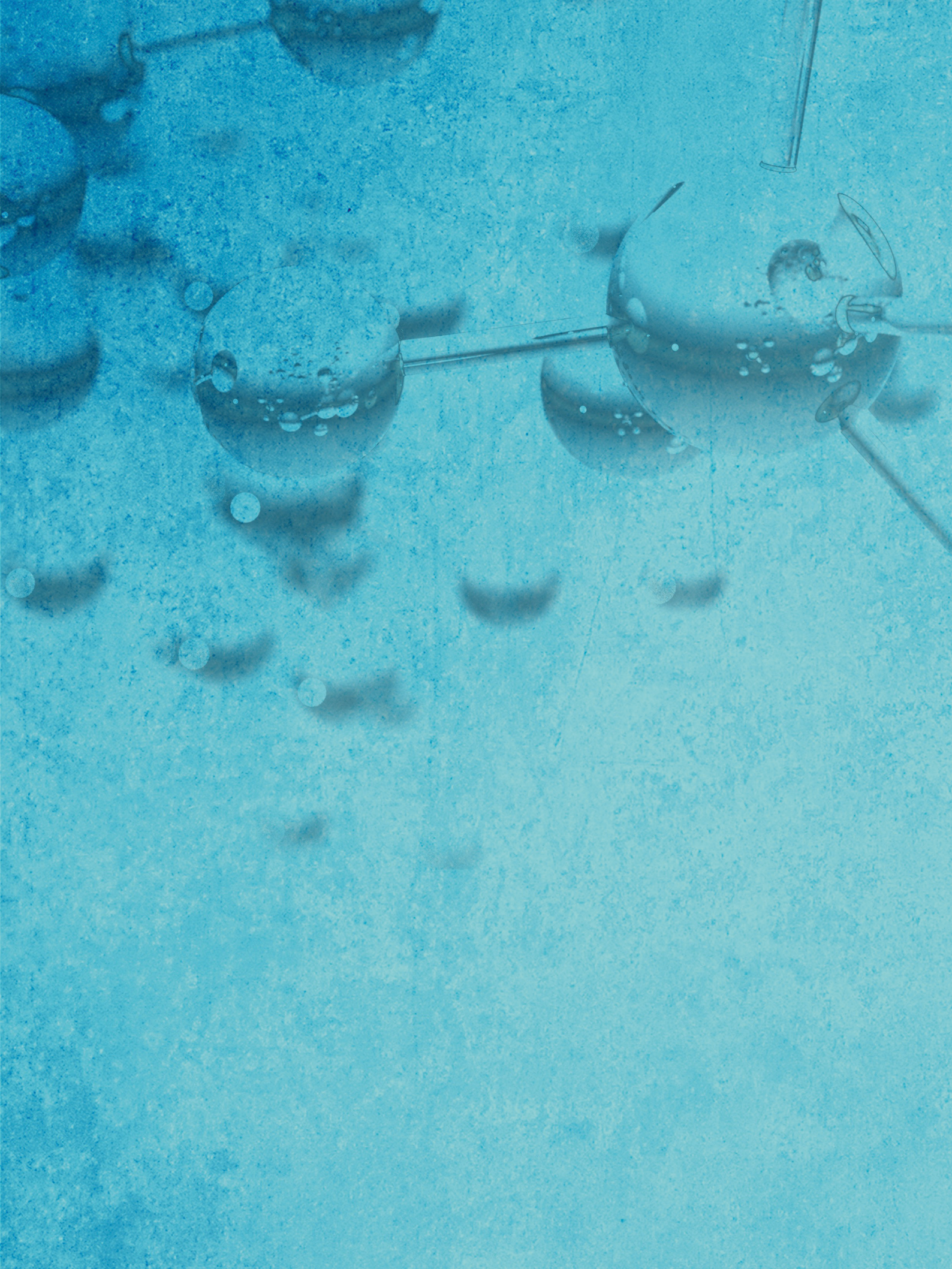
Congelados (LT): 48,86 kW, **R404A** a -30 °C / 8 °C.

**Tabela 8.3 - Análise dos resultados de consumo energético entre as lojas dos Supermercados avaliados [kWh].**


Supermercado	SJP	Curitiba
Rack MT + bombas + balcões	61.909	83.890
Rack LT + Ilhas + câmaras de congelados	26.609	29.893
TOTAL	88.518	113.783

Para o sistema de congelados (LT) foi obtido uma redução no consumo energético de 11,25% para o sistema com CO<sub>2</sub>. A economia total foi de 22,26% para o sistema com CO<sub>2</sub>.









**Comparação Simulada  
de Sistemas com Fluidos  
Naturais Utilizados em  
Sistema Primário**





Este capítulo faz um resumo de artigo publicado pela SPM Engenharia<sup>1</sup>, que compara o funcionamento de sistemas utilizando fluidos secundários em combinação com diversos tipos de fluidos refrigerantes primários como o R22 (HCFC), R507A (HFC) e R290 (HC), além de uma combinação de CO<sub>2</sub> em regime subcrítico com R507A (HFC).

## 9.1 DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS SIMULADOS

Usualmente, as instalações de média temperatura para supermercados empregam a expansão direta de R22. Este tipo de sistema opera com grandes volumes de fluido refrigerante e normalmente com temperaturas de evaporação de projeto de -10 °C (para média temperatura), de -32 °C (para baixa temperatura) e de +45 °C de temperatura de condensação. Entretanto, verifica-se que a temperatura de evaporação diminui para -11 °C e -33 °C quando há queda na carga térmica requerida ou aumento no desempenho do compressor pela queda na temperatura de condensação. Assim, durante estes períodos há diminuição do coeficiente de performance (COP) da instalação. Outro fator limitante é a utilização de válvulas de expansão termostáticas, pois elas não admitem grandes variações na temperatura de condensação. Portanto, a malha de controle dos condensadores atua mantendo a temperatura de condensação estável entre 40 e 45 °C.

Quando são utilizados sistemas indiretos com fluidos secundários, o regime nominal de operação é semelhante para o circuito de baixa temperatura, -32/+45 °C, com temperatura de alimentação do fluido secundário de -26 °C. Entretanto, para o circuito de média temperatura é possível operar com temperatura de fluido secundário de até -2 °C, que permite regime de operação nominal de -8/+45 °C, obtendo assim uma melhora no COP e redução do consumo de energia elétrica, mesmo considerando a potência utilizada pela bomba de fluido secundário. Também há uma diminuição da carga de fluido refrigerante primário, favorecendo a viabilidade do uso de fluidos naturais. Verifica-se que em períodos de redução da carga térmica requerida ou redução da pressão de condensação, há no caso destes sistemas indiretos uma elevação da temperatura de evaporação e, com isso, o aumento do COP do sistema.

Estes sistemas também viabilizam o uso de válvulas de expansão eletrônicas, que possibilita a redução da temperatura de condensação para aproximadamente 25 °C, além de permitir um maior controle do superaquecimento de sucção.

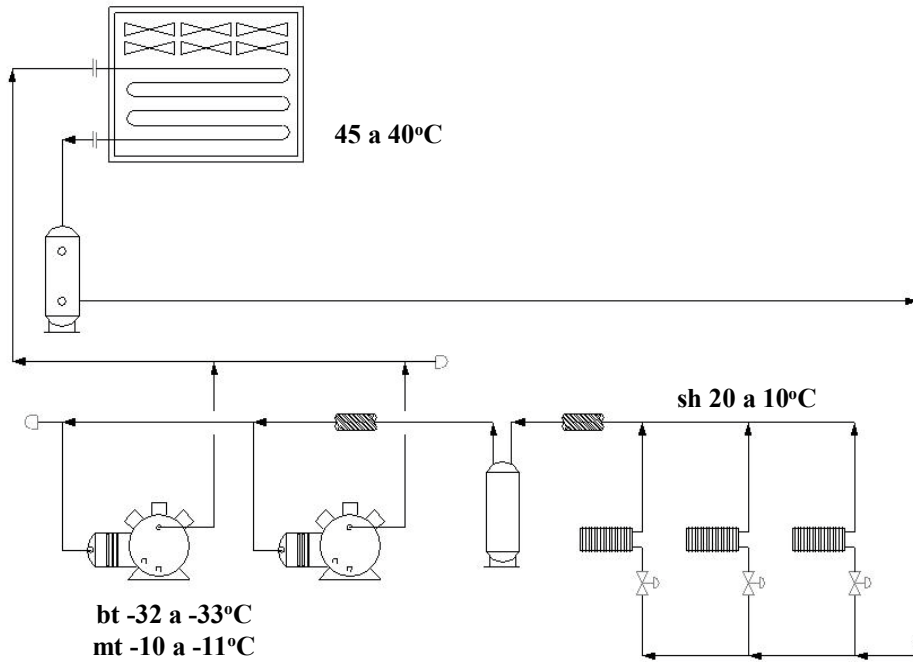
Atualmente existem vários tipos de produtos utilizados como “anticongelantes” em soluções de fluidos secundários para instalações de refrigeração. Para análise das soluções dos fluidos secundários, os anticongelantes analisados foram o acetato de potássio para baixa temperatura e o propileno glicol para média temperatura. Também foram analisados sistemas com CO<sub>2</sub> em regime subcrítico.

1 Presotto & Süffert – Novas tendências na utilização de fluidos secundários em sistemas de refrigeração – SPM Engenharia, 2009.



Quanto aos fluidos refrigerantes primários foram analisados a utilização do HCFC-22, HFC-507A e HC-290.

Nas Figuras 9.1 a 9.3 são apresentados os fluxogramas esquemáticos com indicação das variações no regime de operação dos sistemas comparados:



**Figura 9.1 - Sistema de expansão direta. (Fonte: SPM Engenharia)**

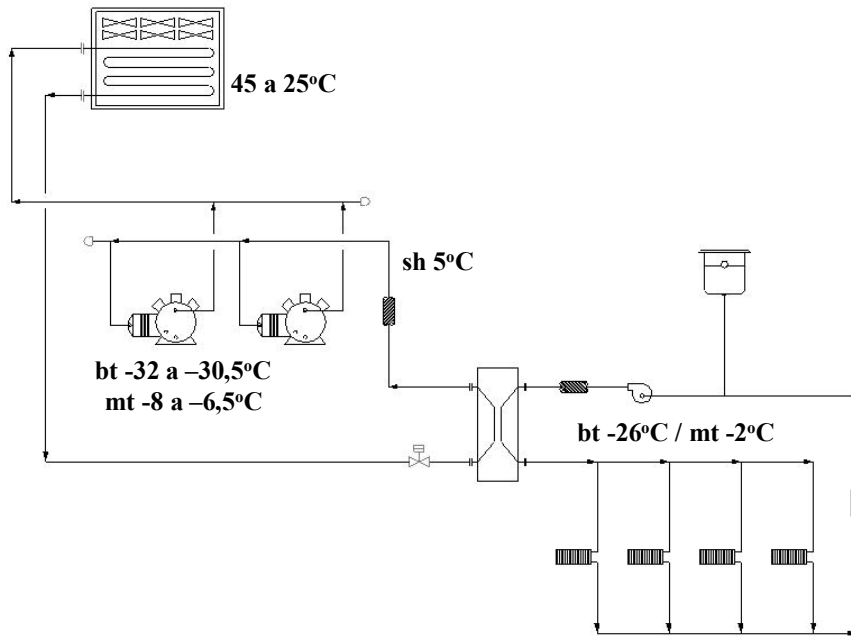


Figura 9.2 - Sistema com utilização de fluidos secundários. (Fonte: SPM Engenharia)

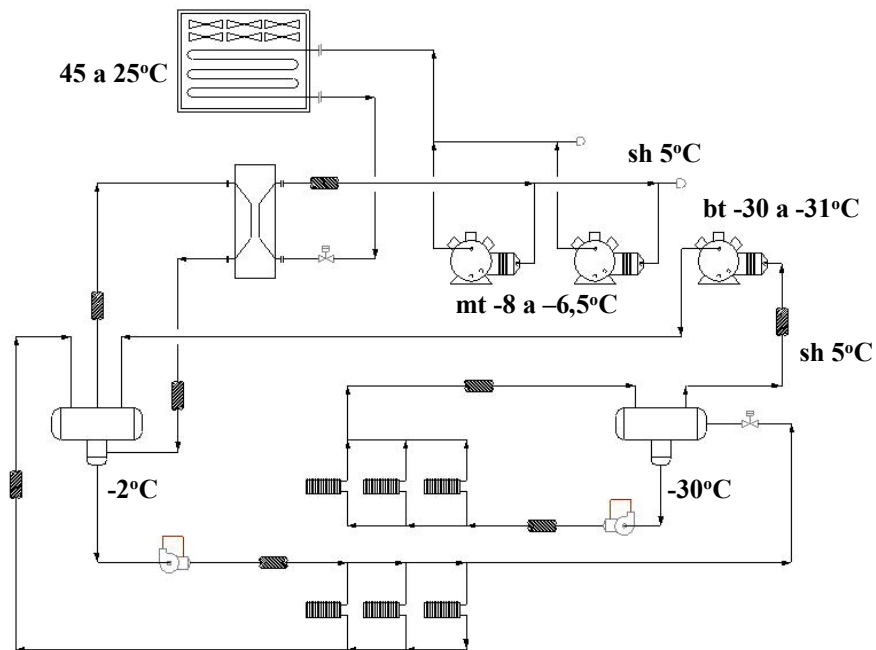


Figura 9.3 - Sistema com utilização de CO<sub>2</sub> em regime subcrítico. (Fonte: SPM Engenharia)

Uma análise comparativa do desempenho energético médio anual e do impacto ambiental entre diversas configurações de sistemas de refrigeração utilizadas atualmente, considerando as variações climáticas ao longo do dia e as estações do ano, juntamente com as oscilações na carga térmica requerida, indicam grandes vantagens na utilização do propano como fluido frigorífico em combinação com fluidos secundários.

## 9.2 DADOS DE ENTRADA

As instalações foram comparadas tecnicamente, considerando uma instalação comercial hipotética, na cidade de São Paulo, admitindo-se um ambiente condicionado, levando-se em conta os reflexos das variações de carga térmica no decorrer do dia e das variações climáticas ao longo do dia e ano, segundo as temperaturas médias para a cidade de São Paulo, conforme arquivo climático TRY (Test Reference Year).

Carga térmica:

- Congelados = 50.000 kcal/h;
- Refrigerados = 120.000 kcal/h;
- Áreas de preparos = 12.500 kcal/h.

Foi considerado um período de abertura ao público de 16 horas/dia, o que significa que durante as 8 horas/dia restantes, com a loja fechada, tem-se as câmaras frigoríficas fechadas e baixa movimentação de produtos nos expositores. Assim, durante o horário noturno admite-se uma diminuição da carga térmica.

Foram considerados compressores do tipo semi-herméticos e condensadores a ar para o cálculo do desempenho energético. Para o degelo dos expositores e das câmaras de congelados, foi considerado um sistema de resistências elétricas. Quando necessário o degelo dos equipamentos de média temperatura, foi considerado um sistema de degelo natural.

A Tabela 9.1 aponta os resultados dos cálculos do coeficiente de performance médio anual (COP), indica a correspondência com o consumo de energia e com o índice TEWI (Total Equivalent Warming Impact), que mede as emissões diretas e indiretas em consequência da operação de cada sistema investigado.



**Tabela 9.1 – Comparativo dos sistemas analisados.**

Sistema	COP média anual	Diferença Consumo Energia %	TEWI
Expansão direta R22	2,16	0,0	2.025.688
Fluidos Secundários com R22	2,41	-10,4	300.618
Fluidos Secundários com R507A	2,23	-3,1	557.543
CO <sub>2</sub> regime subcrítico com R507A	2,20	-1,8	365.527
Fluidos Secundários com R290	2,67	-19,1	805

### 9.3 IMPACTO AMBIENTAL

Para análise do impacto ambiental do sistema de refrigeração, não é suficiente analisar os coeficientes de Potencial de Destruição do Ozônio (PDO) ou de efeito estufa (GWP), pois estes índices são características físicas das substâncias utilizadas e não consideram aspectos da instalação. Assim, utilizou-se o índice TEWI, que é a soma das emissões diretas e indiretas através das perdas de fluido refrigerante e do consumo de energia. Este índice considera o GWP dos gases utilizados, a carga de fluido refrigerante, a quantidade de vazamentos, o consumo de energia, a fonte geradora de energia e o tempo de operação do sistema. A Tabela 9.2 compara o TEWI dos sistemas analisados, calculados para um sistema durante 5 anos de operação.

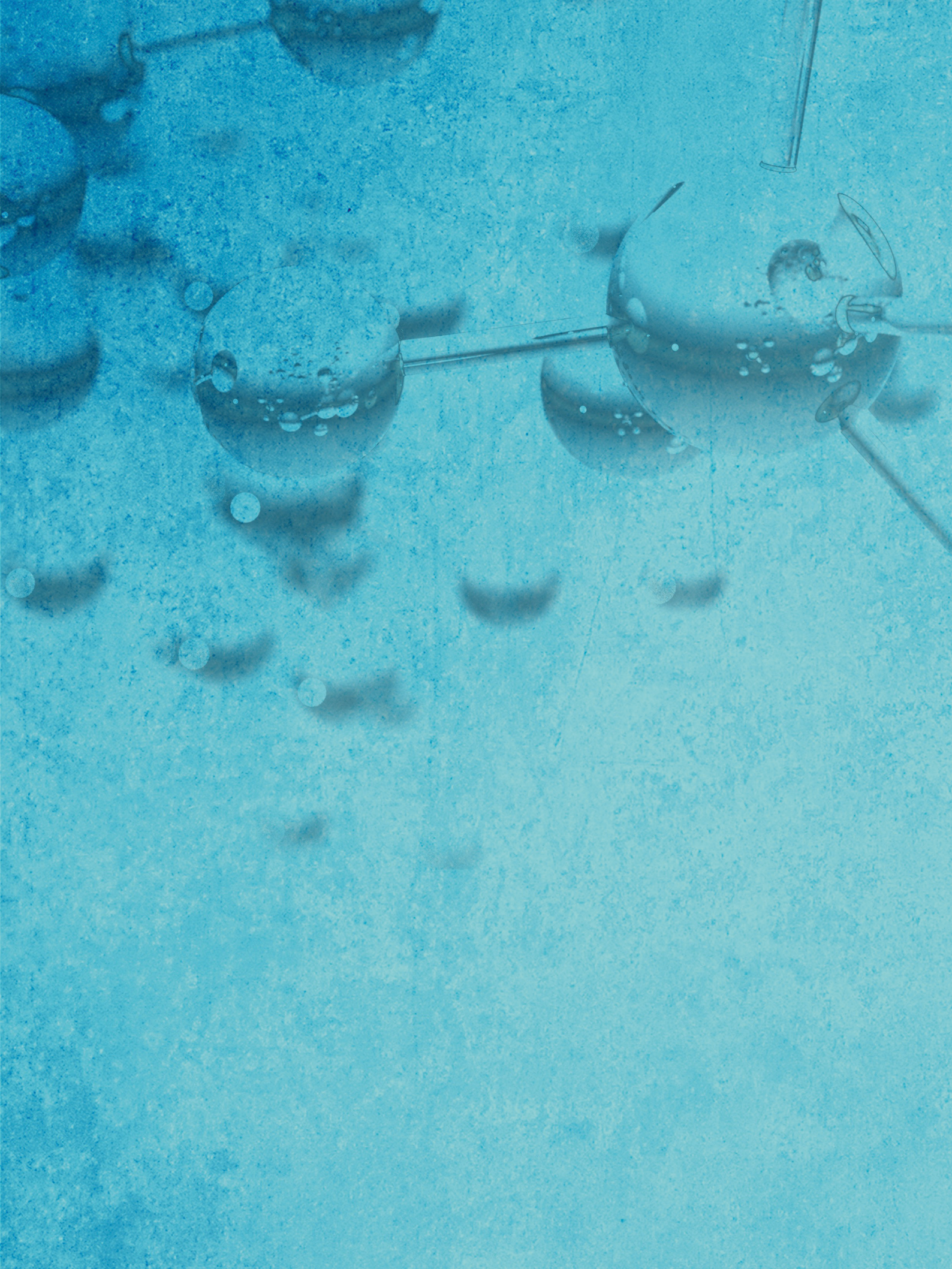
**Tabela 9.2 – Comparativo dos sistemas analisados considerando 5 anos de operação.**

Sistema	PDO	GWP	Fluidos refrigerantes(g)	Energia MWh/a	TEWI
Expansão direta R22	0,055	1.500	1.080	860,5	<b>2.025.688</b>
Fluidos Secundários com R22	0,055	1.500	160	772,6	<b>300.618</b>
Fluidos Secundários c/ R507A	0	3.300	135	834,9	<b>557.543</b>
Fluidos Secundários com R290	0	3	66	696,4	<b>805</b>
CO <sub>2</sub> subcrítico com R507A	<b>0</b> <b>0</b>	<b>3.300</b> <b>1</b>	<b>88</b> <b>1.480</b>	<b>845,7</b>	<b>365.527</b>

**NOTA:** Os sistemas combinados de fluidos secundários com R290 (propano) apresentaram os melhores resultados, tanto na questão do desempenho energético como no impacto ambiental. O propano apresenta desempenho termodinâmico semelhante ao R22, mas com PDO = 0 e GWP = 3. Lembrando que este sistema precisa de cuidados especiais quanto aos critérios de segurança, pois possui o índice A3 na classificação Ashrae, por conta de sua característica inflamável.











# Estudios de Caso

# 10



## 10.1 ESTUDO DE CASO COM CO<sub>2</sub>

A figura 10.1 apresenta a fachada do Supermercado & Padaria Verdemar que foi o primeiro supermercado da América Latina a utilizar o CO<sub>2</sub> como fluido refrigerante.



**Figura 10.1 - Fachada do Verdemar.**

A loja foi inaugurada em abril de 2010 e está localizada no Jardim Canadá, em Nova Lima, Minas Gerais. A loja foi projetada e construída sobre os princípios básicos da sustentabilidade econômica, social e ambiental, tendo como objetivo a preocupação com a preservação do meio ambiente.

A seguir serão apresentadas algumas das características de sustentabilidade da loja:

**Sistema de refrigeração:** utiliza o CO<sub>2</sub> como fluido refrigerante no sistema de refrigeração. Tem como resultado a redução da emissão de poluentes em benefício da camada de ozônio e do sistema climático global. O CO<sub>2</sub> é um gás com Potencial de Aquecimento Global cerca de 3,26 mil vezes menor que o R404A. Na Figura 10.2 é apresentado o setor de congelados do Supermercado & Padaria Verdemar, com ilhas de baixa temperatura utilizando CO<sub>2</sub>.

**Economia de água:** O prédio conta com um sistema de coleta de água da chuva e de uma Estação de Tratamento de Água (ETA). A meta é reciclar cerca de 80% do líquido usado na loja. A água tratada é utilizada em banheiros, para limpeza de áreas externas e manutenção de jardins. Os banheiros possuem válvulas de descargas com acionamento diferenciado para resíduo líquido e sólido, que contribuem para a economia de água.

**Aquecimento no piso:** a loja foi instalada no Jardim Canadá, uma região fria. São 1800 m<sup>2</sup> de piso radiante, alimentados por tubulações de água quente que é gerada por um trocador de calor do sistema de refrigeração. O resultado é o conforto térmico, sem consumo de energia.

**Inovação do piso:** o estacionamento e passeios da loja contam com piso intertravado resistente e ecológico, feito a partir de rejeitos de mineração sedimentados nos cursos d'água e em barragens de rejeitos.

**Sacolas retornáveis:** a loja conta com sacolas de rafia 100% recicláveis, que são impermeáveis, resistentes e retornáveis.

**Reciclagem:** a loja conta com posto de coleta de óleo e outros resíduos e materiais recicláveis, tais como pilhas, lata de alumínio, embalagens, papel, papelão, vidro e metal. Há também um posto de coleta de hardware.

**Pintura de minério de ferro:** a pintura da loja foi feita à base de minério de ferro. As fachadas externas foram pintadas com tinta tipo grafiato, à base de minério de ferro reutilizado.

**Usina de Biodiesel:** a loja possui uma usina para produção de biodiesel, abastecida com óleo de cozinha usado na loja e também entregue por clientes.

**Redução do Consumo de Energia Elétrica:** na loja são utilizadas lâmpadas LED, que consomem cerca de 25% menos energia e evitam a oxidação de alimentos.



**Figura 10.2 - Setor de congelados do Supermercado & Padaria Verdemar, ilhas de baixa temperatura com CO<sub>2</sub>.**

## DESCRIÇÃO DO SISTEMA

A instalação consiste em um sistema de refrigeração em cascata, que utiliza o CO<sub>2</sub> como fluido refrigerante no estágio de baixa pressão, com expansão direta para atender os equipamentos de congelados (câmaras e ilhas de congelados). Já nos equipamentos de resfriados, o Propileno Glicol é utilizado



como fluido de transferência de calor num circuito bombeado que circula nos expositores e câmaras de resfriados. No estágio de alta pressão é utilizado o R134a, com carga de fluido reduzida, atuando somente no resfriamento do Propileno Glicol e na condensação do CO<sub>2</sub>, conforme ilustrado na figura 10.3 e fluxograma simplificado na figura 10.4.

Os sistemas de refrigeração tradicionais usados em supermercados são responsáveis por emissões significativas dos gases de efeito estufa por meio dos vazamentos de fluidos frigoríficos para atmosfera. As emissões de sistemas com CO<sub>2</sub> em cascata são aproximadamente 6 vezes mais baixas se comparada aos sistemas com fluidos sintéticos, pois o impacto para o sistema climático global do CO<sub>2</sub> é desprezível. Além disso, a carga de CO<sub>2</sub> é bastante reduzida devido a alta capacidade volumétrica de refrigeração, que chega a ser entre 5 a 8 mais elevada do que outros fluidos semelhantes.

#### VANTAGENS DO SISTEMA COM CO<sub>2</sub> SOBRE SISTEMAS TRADICIONAIS COM R404A E R22:

- Fluido ecológico, não destrói a camada de ozônio e apresenta desprezível impacto para o sistema climático global (GWP = 1);
- Disponível na natureza;
- Redução do consumo de energia elétrica (dependerá das condições de aplicação e do perfil de carga térmica);
- Baixa relação de compressão e aumento da vida útil dos compressores;
- O CO<sub>2</sub> possui elevada densidade e alta pressão no estágio de baixa;
- Redução do diâmetro das tubulações;
- Redução da carga de fluido frigorífico;
- Baixo custo do CO<sub>2</sub>;
- Elevada entalpia de evaporação e alto grau de líquido sub-resfriado com maior rendimento frigorífico;
- Menor volume deslocado e compressores menores;
- Rack e instalação mais compacta com menor número de compressores;
- Evaporadores mais compactos e eficientes;
- Redução dos gastos com manutenção.



**Figura 10.3 - Rack com CO<sub>2</sub> instalado no Supermercado & Padaria Verdemar.**

#### DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS COMPONENTES

O sistema de refrigeração do Supermercado & Padaria Verdemar possui como componentes principais:

- Trocador de calor para aproveitamento do calor rejeitado;
- Condensador a ar com sistema de controle e redução da temperatura de condensação;
- Válvulas de expansão eletrônicas;
- Vasos de pressão;
- Compressores com velocidade variável;
- Gerenciadores eletrônicos.

Este sistema possui outras vantagens e benefícios, que garantem um menor consumo de energia elétrica, a saber:

**Sistema de recuperação do calor:** permite a utilização de água quente em toda a loja para atender as torneiras de cozinhas, banheiros de funcionários, e aquecimento do piso da loja, proporcionando maior conforto térmico aos clientes. Este sistema aproveita o calor dissipado pelo estágio de alta pressão para aquecer a água sem custo de energia, sendo realizado em um trocador de calor instalado entre a descarga dos compressores e condensadores.

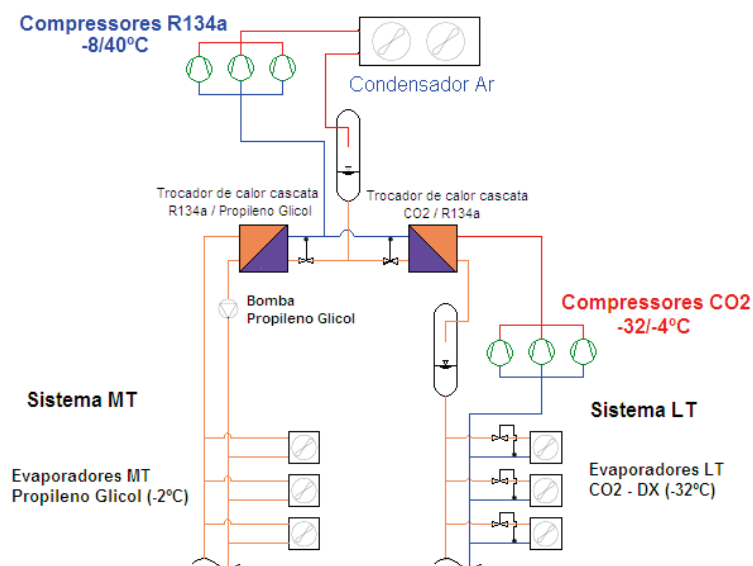
**Sistema de redução da temperatura de condensação:** projetado de forma onde o ar antes de entrar na serpentina do condensador passa primeiro por um “painel” com fluxo de água, diminuindo a tem-

peratura de entrada do ar e, conseqüentemente, a temperatura de condensação. Com isso, eleva-se significativamente o COP (coeficiente de rendimento) do sistema, aumentando a capacidade frigorífica dos compressores com baixo consumo de energia.

**Ventiladores do condensador de corrente contínua e com velocidade variável:** são mais eficientes e garantem maior estabilidade da temperatura de condensação. Proporcionam baixo consumo energético e maior vida útil dos compressores.

**Válvulas de expansão eletrônicas:** utilizadas nos trocadores de calor cascata de CO<sub>2</sub> e de propileno glicol, garante estabilidade da temperatura de evaporação do estágio de alta pressão e maior economia de energia.

**Compressores com variadores de frequência:** permitem uma temperatura de evaporação mais estável e um melhor ajuste à capacidade instantânea requerida, proporcionando maior economia de energia.



**Figura 10.4 - Fluxograma frigorífico simplificado do sistema com CO<sub>2</sub> instalado no Supermercado & Padaria Verdemar.**

**Gerenciadores eletrônicos:** garantem um funcionamento seguro e eficiente de todo sistema, permitindo acesso local ou remoto via Internet e envio de alarmes via SMS. São ferramentas importantes para uma melhor gestão de todo o sistema, contribuindo para a redução de falhas operacionais e para manutenção preventiva. Em uma aplicação subcrítica (cascata), o CO<sub>2</sub> leva vantagem em relação aos sistemas de simples estágio. A alta densidade do vapor de sucção resulta numa troca de calor eficiente entre a linha de sucção do CO<sub>2</sub> e a linha de líquido do estágio de alta pressão. Conseqüentemente, além de aumentar o rendimento do sistema de alta pressão, garante um controle estável do



superaquecimento do vapor de sucção do compressor de CO<sub>2</sub>, evitando a diluição do fluido refrigerante no óleo.

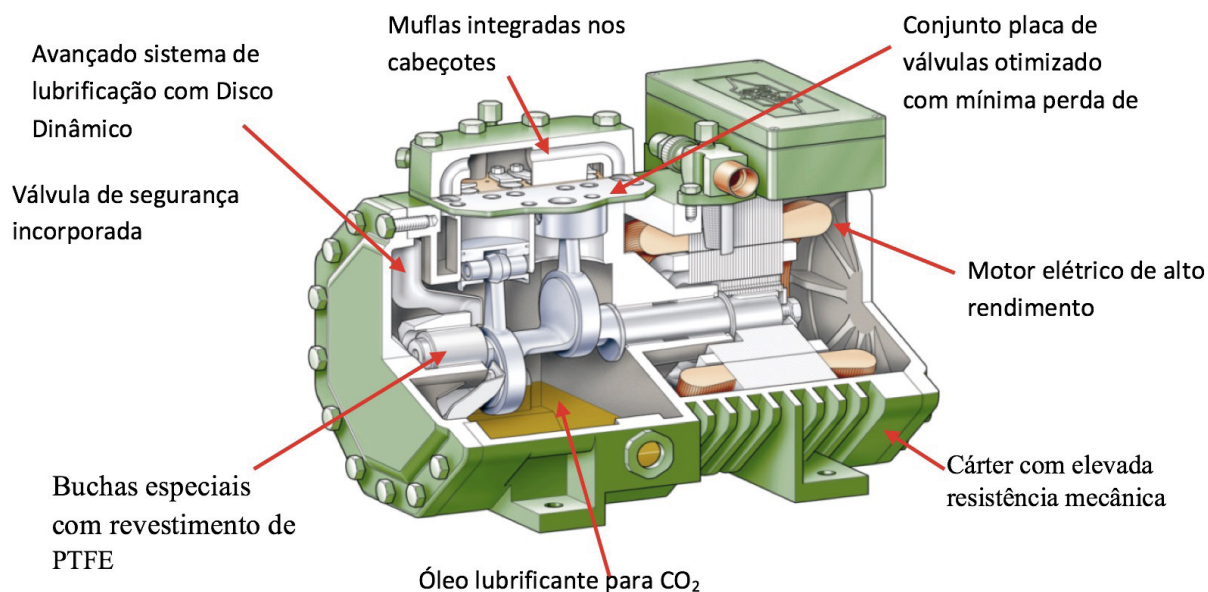


Figura 10.5 - Compressor alternativo semi-hermético para CO<sub>2</sub>.

## Ficha Técnica do Sistema de Refrigeração com CO<sub>2</sub>

- Obra: Supermercado & Padaria Verdemar, instalado numa área de 6.000m<sup>2</sup>, no Jardim Canadá, em Nova Lima, Minas Gerais;
- Projeto e instalação do sistema de refrigeração: Plotter & Racks;
- Compressores, suporte técnico e treinamento: BITZER do Brasil;
- Capacidade dos equipamentos de resfriados: 200 KW (-2 °C com propileno glicol);
- Capacidade dos equipamentos de congelados: 36 KW (-32 °C expansão direta com dióxido de carbono – CO<sub>2</sub>);
- Balcões frigoríficos: Arneg Brasil;
- Evaporadores das ilhas de congelados: Mipal Brasil;
- Evaporadores das câmaras frigoríficas: Thermofin Alemanha;
- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): Air Liquid - Belo Horizonte/MG.

## 10.2 ESTUDO DE CASO DE FLUIDOS INTERMEDIÁRIOS PARA USO EM SISTEMAS COM AMÔNIA

Como alternativa aos HCFCs para sistemas de refrigeração de supermercados, sistemas contendo fluido intermediário foram inicialmente desenvolvidos no Brasil com o objetivo de realizar a redução da carga de fluido. O fluido primário fica limitado à planta central e o fluido secundário é encarregado de circular no restante da planta. Subsequentemente, foi possível a eliminação do uso do HCFC do sistema utilizando o amoníaco. (Presotto & Süffert, 2001)

A Tabela 10.1 mostra algumas plantas com amônia em funcionamento no Brasil há mais de 10 anos.

**Tabela 10.1 – Instalações existentes com amônia.**

Supermercado	Cidade/Brasil	Ano	Área (M2)	Chiller	Produtos resfriados	Produtos congelados
Zaffari Higienópolis	Porto Alegre	1996	7000	NH <sub>3</sub>	Propileno Glycol	Expansão seca HCFC-22
Bourdon Canoas	Canoas	1997	10000	NH <sub>3</sub>	Propileno Glycol	Expansão seca HCFC-22
Bourdon Ipiranga	Porto Alegre	1998	10000	NH <sub>3</sub>	Propileno Glycol	Tyfoxit
Bourdon Passo Fundo	Passo Fundo	1999	9500	NH <sub>3</sub>	Propileno Glycol	Tyfoxit
Bourdon João Wallig	Porto Alegre	2001	10000	NH <sub>3</sub>	Propileno Glycol	Tyfoxit
Zaffari NH	Novo Hamburgo	2001	6000	NH <sub>3</sub>	Propileno Glycol	Tyfoxit

### DESCRIÇÃO DO SISTEMA

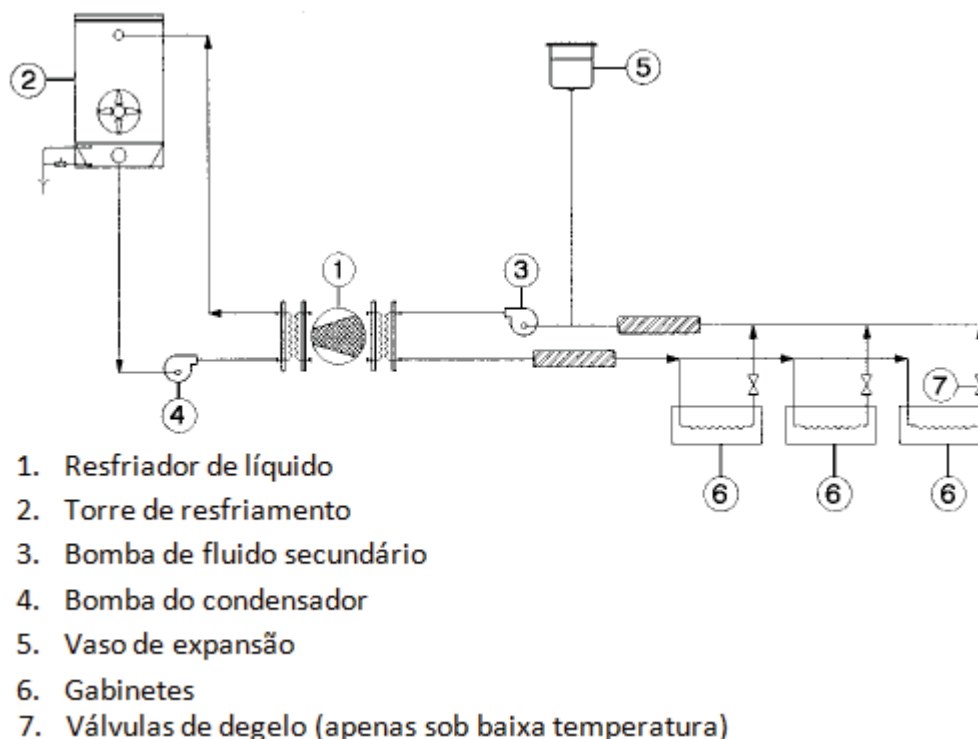
O sistema consiste de um chiller que resfria uma solução de água acrescida de um agente anticongelante. O anticongelante é capaz de manter a solução no estado líquido a baixas temperaturas. Esta solução flui pela tubulação de distribuição impulsionada por uma bomba centrífuga a partir da sala de máquinas para os gabinetes e câmaras frias do sistema. A temperatura necessária para conservar o produto é garantida por um equilíbrio adequado entre os níveis de temperatura do fluido secundário e a superfície de troca de calor das serpentinhas.

### DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS COMPONENTES DO SISTEMA

- Resfriador de líquido com sistema de refrigeração;
- Torre de resfriamento;
- Bomba de fluido secundário;
- Bomba do condensador;

- Vaso de expansão;
- Gabinetes;
- Válvulas de degelo para operação em baixa temperatura.

Os principais componentes do sistema estão ilustrados na figura 10.6.



**Figura 10.6 – Operação do sistema. (Fonte: Presotto & Süffert, 2001)**

### TEMPERATURA MÉDIA DO SISTEMA

Os sistemas de média temperatura para supermercados costumam utilizar o HCFC-22 no sistema de expansão direta com temperatura de evaporação de cerca de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A superfície de troca de calor e outros componentes são projetados para essa condição.

A grande diferença entre a temperatura de evaporação e a temperatura de conservação do produto exige o controle de ciclos de temperatura para condições de carga parcial e de rotinas de degelo.

Instalações que utilizam fluido intermediário normalmente usam a solução para  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Assim, é possível manter as serpentinas com a mesma área de troca de calor em relação aos sistemas de expansão direta. No entanto, há necessidade de controlar a temperatura nos gabinetes, nas câmaras frigoríficas e nas rotinas de degelo.



A solução projetada tem como objetivo operar a instalação com uma menor diferença de temperatura entre o fluido intermediário e a temperatura do produto, sendo a temperatura do fluido intermediário de cerca de  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Por meio de um equilíbrio adequado entre o fluxo da solução e do calor de troca na superfície é possível garantir uma temperatura adequada para conservação do produto, aumentando a temperatura de evaporação e melhorando o COP do sistema.

## RESULTADOS

Os resultados alcançados em relação aos produtos conservados usando o fluido secundário são equivalentes aos resultados obtidos nas instalações de refrigeração que utilizam o HCFC-22 em sistema convencional de expansão direta.

Como não há interrupções no fornecimento de fluido para a serpentina, estas condições não se alteram ao longo do dia. Isso garante a conservação dos produtos de acordo com os padrões de qualidade exigidos para a mercadoria.

## DESEMPENHO DO SISTEMA

Considerando-se que é possível operar com uma temperatura de evaporação superior, há um aumento no COP da planta que permite a recuperação da energia adicional necessária para operar a bomba de fluido intermediário, conforme apresentado na Tabela 10.2.

**Tabela 10.2 – Desempenho do sistema em carga total.**

Sistema	Fluido frigorífico	Condensador	Faixa $^{\circ}\text{C}$	COP (Compressor)	COP (Compressor + Bombas)
Expansão direta	HCFC-22	Ar	14 a 113	2,99	-
Expansão direta	HCFC-22	Água	14 a 104	3,36	-
Expansão direta	HCFC-22	Água	14 a 99,5	3,57	-
Fluido intermediário	HCFC-22	Ar	21,2 a 113	3,41	2,91
Fluido intermediário	HCFC-22	Água	21,2 a 99,5	4,11	3,61
Fluido intermediário	$\text{NH}_3$	Água	21,2 a 99,5	4,08	3,58

No entanto, comparando o desempenho do sistema em condições de carga parcial, um maior aumento do COP do sistema é notado.

Isso ocorre porque as plantas com expansão direta requerem válvula de expansão termostática e certa diferença de pressão para assegurar o rendimento é necessária.

Levando-se em conta que em sistemas indiretos, chillers e válvulas de expansão eletrônicas são utilizados, não há necessidade de manter o mesmo diferencial de pressão necessário para sistemas de expansão direta. Portanto, além de aumentar a temperatura de evaporação, nestes casos, também

operaram com uma temperatura de condensação inferior, resultando em um melhor desempenho geral do sistema, como mostrado na Tabela 10.3.

**Tabela 10.3 - Desempenho do sistema em cargas parciais.**

Sistema	Fluido refrigerante	Condensador	Faixa °C	COP (Compressor)	COP (Compressor + Bombas)
Fluido intermediário	HCFC-22	Água	21,2 a 86	5,01	4,51
Fluido intermediário	NH <sub>3</sub>	Água	21,2 a 86	5,01	4,51

**Obs.:** Condições de operação estimada para a cidade de São Paulo considerando temperatura de bulbo seco em 21 °C e temperatura de bulbo úmido de 17,5 °C.

## FLUIDO UTILIZADO

Devido à várias plantas usarem solução de água e propileno glicol, não foram necessárias pesquisas para escolher o fluido secundário para ser utilizado em sistemas de média temperatura. Além disso, devido à pequena quantidade de propileno glicol na solução (menos do que 20%), as propriedades físicas e termodinâmicas da água não sofreram grandes alterações, conforme Tabela 10.4.

**Tabela 10.4 – Propriedades da solução a 20% de propileno glycol.**

Produto	Temperatura (°F)	Densidade (lb/ft <sup>3</sup> )	Calor específico (BTU/lb * °F)	Calor de condução (BTU/h*ft * °F)	Viscosidade cinética (ft <sup>2</sup> /s)
Água	41	62,42	1,005	0,326	16,69 * 10 <sup>-6</sup>
Propileno glicol a 20%	28,4	64,15	0,938	0,267	45,86 * 10 <sup>-6</sup>

No que se refere à corrosão, uma solução de água e propileno glicol têm níveis extremamente baixos de corrosão quando em contato com cobre ou latão, e quando inibidos, estas taxas também são baixas para o aço carbono.

Soluções aquosas de propileno glicol são também compatíveis com quase todos os materiais utilizados em comum nas plantas (isto é, equipamentos e materiais de refrigeração para juntas de vedação e ligações). Evitar o contato com:

- Zinco;
- Aço galvanizado;
- Ferro fundido cinzento;
- Água com excesso de cloro;
- Água com sulfatos em excesso.

No que diz respeito à toxicidade, o propileno glicol grau USP é usado principalmente nos alimentos, cosméticos e indústria farmacêutica. Há versões de propileno glicol que são totalmente atóxicos (utilizado em alimentos de origem animal).

Quanto à sua inflamabilidade o propileno glicol em soluções com concentração acima de 80% tem ponto de inflamabilidade de 102 °C. O produto não é inflamável para concentrações abaixo de 80%.

## SISTEMAS DE BAIXA TEMPERATURA

Plantas convencionais de baixa temperatura com HCFC-22 em sistema de expansão direta geralmente operam com evaporação igual ou inferior a -30 °C. Por isso, em sistemas de baixa temperatura foi decidido operar com a mesma temperatura de evaporação do líquido no resfriador com um fornecimento de temperatura do fluido intermediário de -27 °C. Nessas condições, e usando as mesmas serpentinas como nas plantas convencionais de expansão direta com circuito adaptado, foi possível assegurar a temperatura desejada em câmaras frigoríficas e gabinetes de produtos congelados a -20 °C.

O ganho de aproximar as diferenças de temperaturas é obtido com base nos seguintes fatores:

- Trocador de calor com o fluxo de contracorrente;
- Transferência de calor uniforme em todo o trocador;
- Minimização do superaquecimento.

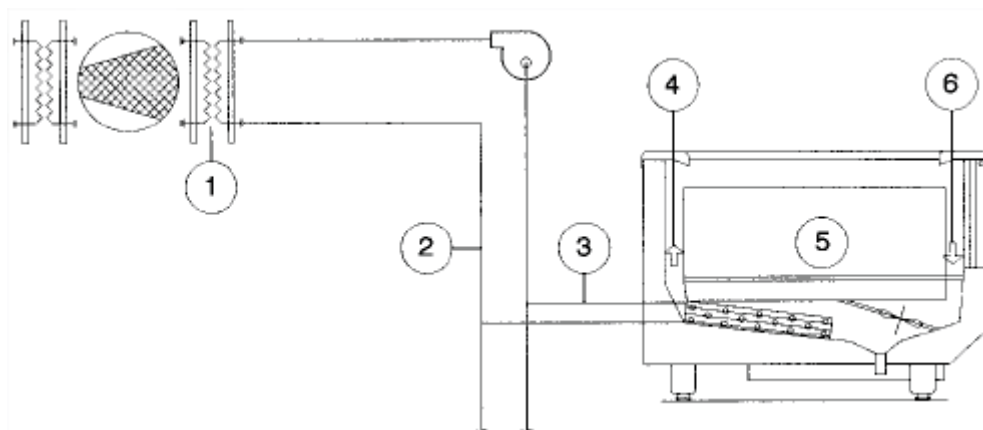
A seguir, algumas observações para procedimentos de degelo:

- O degelo elétrico atua de maneira mais eficaz em serpentinas com fluido intermediário do que em expansão seca, devido à difusão do calor causada pelo fluido ao longo do trocador intermediário, fornecendo curtos períodos de degelo;
- A recuperação da temperatura de operação nos gabinetes e câmaras é mais rápida, após o degelo.

## RESULTADOS

O resultado alcançado em relação à conservação do produto em plantas operando conforme descrito anteriormente assegura as condições necessárias para a armazenagem e exposição de produtos congelados em supermercados, conforme figura 10.7. Apesar da rotina de degelo ainda ser necessária, percebe-se que as oscilações na temperatura da solução após o degelo são muito menores do que as variações na temperatura de evaporação durante os mesmos períodos de tempo em sistemas de evaporação direta.





Ponto	Local	Temperatura de congelados (°C)
1	Resfriador de líquidos	-30
2	Entrada de líquido na serpentina	-27
3	Saída de líquido da serpentina	-25
4	Saída do ar	-24
5	Produtos	-20
6	Retorno do ar	-18

**Figura 10.7 - Resultados obtidos no sistema de produtos congelados. (Fonte: Presotto & Süffert, 2001)**

## DESEMPENHO DO SISTEMA

Tal como em plantas de média temperatura, um sistema de baixa temperatura com fluido intermediário sofre uma ligeira diminuição em seu desempenho, por conta da potência adicional necessária para bombear a solução. Quando a amônia é utilizada como fluido refrigerante, o COP aumenta. O COP é melhor do que em plantas com expansão direta com um condensador a ar, o qual é utilizado na maioria das plantas existentes nos supermercados, como mostrado na Tabela 10.5.

**Tabela 10.5 - Desempenho do sistema em carga total.**

Sistema	Fluido refrigerante	Condensador	Faixa (°C)	COP compressores	COP compressores + bombas
Expansão direta	HCFC-22	Ar	30 a 45	1,71	
Expansão direta	HCFC-22	Água	30 a 40	1,82	
Expansão direta	HCFC-22	Água	30 a 35	1,98	
Fluido intermediário	HCFC-22	Ar	30 a 45	1,82	1,52
Fluido intermediário	HCFC-22	Água	30 a 40	1,93	1,63
Fluido intermediário	HCFC-22	Água	30 a 35	2,11	1,81
Fluido intermediário	NH <sub>3</sub>	Água	30 a 35	2,15	1,85

Quando se analisa a planta sob a condição de carga parcial usando as condições meteorológicas médias anuais, há um ganho real no COP da planta com amônia, conforme Tabela 10.6.

**Tabela 10.6 - Desempenho do sistema em carga parcial.**

Sistema	Fluido refrigerante	Condensador	Faixa (°C)	COP compressores	COP compressores + bombas
Fluido intermediário	HCFC-22	Água	30 a 29	2,22	1,92
Fluido intermediário	NH <sub>3</sub>	Água	31 a 29	2,37	2,07

**Obs.:** Condições de operação estimada para a cidade de São Paulo considerando temperatura de bulbo seco em 21 °C e temperatura de bulbo úmido de 17,5 °C.

## FLUIDO UTILIZADO

Em relação ao agente anticongelante, foi escolhido o Tyfoxit por ser compatível com quase todos os materiais usados em plantas de refrigeração (equipamentos e materiais para vedação de juntas e conexões). Entretanto, estes materiais não devem ser usado com:

- Politetrafluoretileno (PTFE);
- Misturas de silicone;
- Resíduos de solução de glicol;
- Água com cloro;
- Aço galvanizado.

Tyfoxit não é um produto tóxico e exposições rápidas não causam nenhum efeito sobre a saúde. No entanto, recomenda-se a utilização de luvas de borracha durante as operações de acordo com as normas gerais para o manuseio de substâncias químicas.

A Tabela 10.7 mostra algumas situações de contato com o produto, suas consequências e tratamento.

**Tabela 10.7 – Consequências e tratamento por conta do contato com Tyfoxit.**

Contato	Consequência	Tratamento
Pele	Exposição para longos períodos de tempo pode causar irritação leve	Lavar as áreas afetadas com água
Olhos	Irritação e possibilidade de queimaduras temporária	Lavar os olhos com água em abundância
Inalação	Possibilidade de Irritação	Expor o paciente ao ar fresco de ventilação
Ingestão	Possibilidade de Irritação	Lavar a boca com água e não induzir o vômito

## VANTAGENS E DESVANTAGENS

Sistemas com fluido intermediário apresentam as seguintes vantagens e desvantagens em relação a plantas tradicionais com HCFC-22 de expansão direta.

### Vantagens

- Custo equivalente de construção;
- Redução do consumo de energia;
- Baixa carga térmica para sistemas de média temperatura;
- Ausência de rotinas de degelo para sistemas de média temperatura;
- Trocadores de calor mais eficientes;
- Menor quantidade de fluido frigorífico no sistema;
- Instalação simples e, conseqüentemente, menor custo de manutenção preventiva ou corretiva;
- Maior confiabilidade operacional (menor ocorrências de manutenção);
- Sistema de controle simplificado;
- Não possui CFC ou HCFC.

### Desvantagens

- Maior espaço físico na sala de máquinas necessário para a instalação do equipamento;
- Maiores áreas de trocar de calor nas serpentinas nos sistemas de média temperatura.

## CONCLUSÃO

As principais vantagens de um sistema de refrigeração, que utiliza um fluido secundário, são:

- Viabilização da utilização de amoníaco como o fluido primário;
- Simplificação da operação do sistema;
- Redução do sistema de controle;
- Redução do consumo de energia;
- Menor variação das temperaturas do sistema.

Estas características foram comprovadas em várias plantas que têm operado no Brasil há mais de 10 anos (especialmente sobre os sistemas de média temperatura, onde as rotinas de degelo foram



eliminadas). O sistema permaneceu em uma condição de operação estável, variando apenas de acordo para as necessidades de carga térmica da loja.

Para os sistemas de baixa temperatura, verificou-se um melhor desempenho dos trocadores, proporcionando melhores resultados em relação à manutenção da temperatura das câmaras frias e gabinetes.

## 10.3 ESTUDO DE CASO COM R290

### 10.3.1 Sistema Protótipo

Devido às grandes cargas de fluidos frigoríficos exigidas no frio alimentar de supermercados, a aplicação do propano limita-se ao sistema de resfriamento indireto. Esse tipo de sistema tem várias aplicações e uma grande finalidade é reduzir a carga de fluido do circuito primário, deixando em uma unidade compacta, onde o principal equipamento do sistema indireto passa a ser o chiller (resfriador de líquido). Assim, o fluido frigorífico primário (propano) fica confinado em uma área específica, que pode ser uma sala de máquinas (container) ou central de água gelada, ou seja, uma central de resfriamento única. Com isso, o circuito secundário, que irá fazer o resfriamento dos processos ou dos ambientes, passa a operar com outro fluido secundário e a instalação fica mais simples com a utilização de bombas e tubulações.

#### Descrição do sistema

O sistema protótipo, construído exclusivamente para teste, é composto por um circuito frigorífico primário de expansão direta para utilização do R290 (propano), com compressor semi-hermético alternativo, condensador a ar com ventiladores dotados de motores eletrônicos, válvula de expansão eletrônica com atuador por motor de passo, trocador de calor, evaporador tipo placas brasado e trocador de calor líquido/sucção do tipo casco e tubos. No circuito secundário há uma solução aquosa de Tyfoxit a 80%, uma moto-bomba centrífuga com montagem tipo “in-line” e forçador de ar com serpentina de cobre/alumínio e ventilação unidirecional. As tubulações utilizadas, tanto no circuito primário quanto no secundário, são de cobre, assim como as conexões para válvulas solenoides, filtros, acessórios e registros.

#### Descrição dos principais componentes:

- Compressor: Bitzer modelo 4PCS-15.2P;
- Condensador: Refrio modelo VCR2;
- Ventiladores: EBM diâmetro 630 mm com motores eletrônicos modelo EC;
- Evaporador: Apema modelo K205-32M-GB16;

- Trocador de calor líquido/sucção: Apema modelo TA-800;
- Válvula de expansão para média e alta temperatura: Sporlan modelo SEI-30;
- Válvula de expansão para baixa temperatura: Sporlan modelo SEI-11;
- Filtros, solenoides, registros e assessórios: RAC;
- Motobomba centrífuga: Grundfos modelo CR 5-3;
- Forçador de ar: Deltafrio modelo DRD1134;
- Controlador lógico programável: BCM modelo GP3011;
- Fluido secundário: solução aquosa de Tyfoxit a 80%;
- Óleo: tipo mineral Clavus G68;
- Fluido Frigorífico: R290 (propano) fornecedor Supergasbrás;
- Montagem: Montérmica Refrigeração e Ar Condicionado Ltda.

O sistema de controle utilizado é composto por um controlador lógico programável, sensores de temperatura do tipo NTC e sensores de pressão, com os seguintes pontos de supervisão e controle:

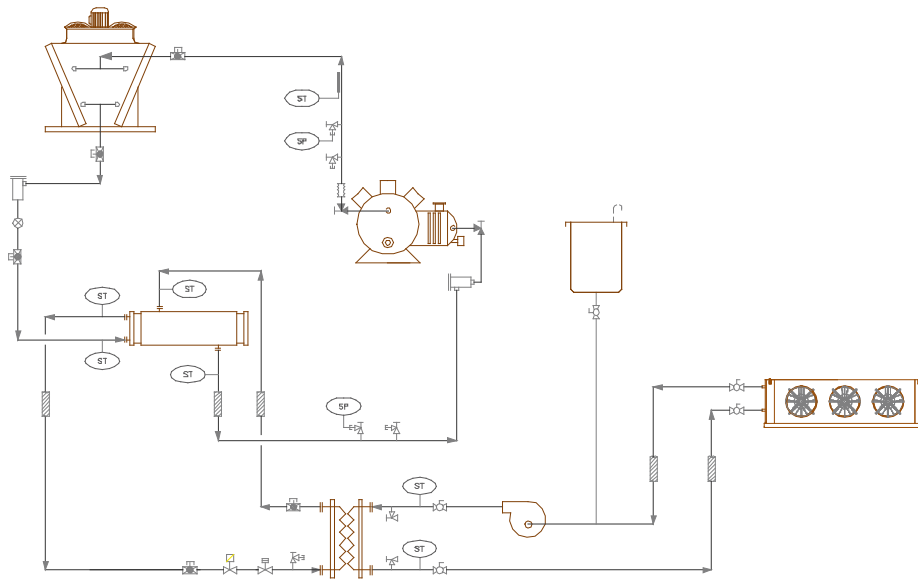
#### **Pontos supervisionados**

- Pressão de condensação;
- Pressão de sucção do compressor;
- Temperatura de sucção antes e depois do trocador;
- Temperatura de líquido antes e depois do trocador;
- Temperatura de descarga do compressor;
- Temperatura de entrada e saída do fluido secundário.

#### **Pontos de controle**

- Temperatura do fluido secundário;
- Pressão de condensação;
- Superaquecimento de sucção do compressor.

Nas figuras 10.8 e 10.9 são mostrados o fluxograma e equipamentos montados do sistema protótipo para testes.



**Figura 10.8 - Fluxograma da instalação. (Fonte: SPM Engenharia)**



**Figura 10.9 - Foto dos equipamentos montados. (Fonte: SPM Engenharia)**



## Teste de operação

Os testes de operação do sistema protótipo foram realizados de outubro de 2009 até maio de 2010. O sistema foi carregado com 5,6 kg de propano (R290) e trabalhou inicialmente em regime de alta temperatura, com *set point* para controle da temperatura de fluido secundário em +5 °C, superaquecimento no evaporador em 5 °C e pressão de descarga do compressor de 13,5 bar, equivalente a temperatura de saturação de 36,2 °C. Posteriormente o *set point* de controle da temperatura do fluido secundário foi alterado em etapas, primeiramente para -2 °C, depois para -15 °C e finalmente para -28 °C, mantendo os parâmetros de controle de superaquecimento e pressão de descarga inalterados. À medida que o ponto de controle da temperatura de fluido secundário era alterado, era necessário ajustar a ventilação do forçador de ar para adequar a carga térmica requerida pelo sistema. Foi necessária a troca da válvula de expansão Sporlan modelo SEI-30 para o modelo SEI-11, durante os testes em baixa temperatura, para manter a capacidade de controle sobre o sistema. O *set point* de pressão de descarga do compressor foi alterado até o mínimo de 12,0 bares, equivalente a temperatura de saturação de 30,9 °C.

Durante os testes foram observados alguns parâmetros importantes na operação do sistema, como estabilidade e segurança operacional. A estabilidade durante o funcionamento foi obtida por meio das seguintes malhas de controle:

- Temperatura do fluido secundário, agindo sobre o controle de capacidade do compressor;
- Pressão de condensação, agindo sobre a velocidade de rotação dos ventiladores do condensador;
- Superaquecimento de evaporação, agindo sobre a abertura da válvula de expansão.

Todos estes parâmetros foram controlados por CLP, por meio de software desenvolvido especificamente para o uso do fluido frigorífico R290.

A segurança da instalação foi garantida por meio da minimização dos riscos de incêndio, devido à pequena carga de fluido frigorífico (5,6 kg de propano) e às dimensões e ventilação natural do local onde o protótipo foi instalado. Mesmo em um eventual vazamento de toda carga de fluido frigorífico haveria uma rápida diluição, mantendo a concentração máxima em 0,0031 kg/m<sup>3</sup>, bem abaixo do ponto de LFL (lower flammability limit) de 0,038 kg/m<sup>3</sup>. Também foi observada a viscosidade do óleo no cárter do compressor, pois a grande miscibilidade do propano com óleo mineral pode diminuir a viscosidade, comprometendo a lubrificação. Desta maneira, o trocador líquido/sucção possibilitou garantir o superaquecimento mínimo necessário de 20 °C na sucção do compressor.

## Resultados obtidos

Os resultados médios obtidos durante os meses de testes estão apresentados na Tabela 10.8.

**Tabela 10.8 - Resultados médios obtidos durante os meses de testes.**

Parâmetro	Média Temperatura Refrigerados	Baixa Temperatura Congelados
Pressão de condensação	entre 11,9 e 14,4 bar	entre 12,2 e 15,3 bar
Pressão de sucção do compressor	entre 2,5 e 2,8 bar	entre 0,5 e 2,7 bar
Temperatura de evaporação	entre -9,5 e -6,8 °C	entre -33,6 e -29,4 °C
Temperatura de sucção na saída do evaporador	entre -1,1 e -2,6 °C	entre -28,7 e -24,9 °C
Temperatura de sucção do compressor	entre +15,2 e +16,7 °C	entre +1,9 e +5,4 °C
Temperatura de líquido na saída do condensador	entre 35,0 e 23,2 °C	entre 30,4 e 26,3 °C
Temperatura de líquido subresfriado	entre 26,3 e 14,4 °C	entre 2,3 e 8,6 °C
Temperatura de descarga do compressor	entre 85,0 e 77,0 °C	entre 95,0 e 102,0 °C
Temperatura de entrada do fluido secundário	entre +6,5 e +4,3 °C	entre -24,4 e -26,3 °C
Temperatura de saída do fluido secundário	entre -0,2 e -2,1 °C	entre -26,5 e -28,3 °C

Os resultados obtidos durante os testes de operação revelaram um sistema estável em todas as variáveis de controle propostas, independentemente das condições climáticas externas ou do regime de funcionamento. Os parâmetros supervisionados ficaram dentro dos limites previstos e, principalmente, o superaquecimento de sucção do compressor manteve-se acima de 20 °C, garantindo eficiência na lubrificação do compressor.

Quanto à segurança operacional, os testes indicaram que a pequena carga de fluido frigorífico, aliada à ventilação natural, minimizaram os riscos de incêndio, mesmo com os vazamentos de propano ocorridos durante o funcionamento do sistema. Desta maneira, mesmo com a proximidade de motores elétricos, a concentração de hidrocarboneto em suspensão no ar não foi suficientemente alta para provocar qualquer princípio de incêndio.

Assim, baseado na experiência operacional e nos estudos sobre a utilização de hidrocarbonetos para sistemas de refrigeração, verifica-se que o sistema proposto é viável do ponto de vista operacional e proporciona, em comparação com as instalações atualmente utilizadas com expansão direta de R22, uma redução de aproximadamente 19% no consumo de energia e um impacto ambiental de cerca de 2.500 vezes menor em termos de efeito de aquecimento global.

Assim, o sistema proposto se mostrou uma excelente opção para instalações comerciais de frio alimentar frente aos desafios ambientais impostos pelos protocolos de Montreal e Quioto.

### 10.3.2 Instalação Real

Abaixo é apresentado o fluxograma simplificado de uma instalação tendo o R290 como fluido primário. Este mesmo fluxograma foi utilizado em uma loja da rede de supermercados Zaffari, localizada em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, com o sistema de R290 operando desde agosto de 2011.

#### Descrição do sistema

- Central frigorífica para produção de suco de laranja;
- Processamento de 20.000 litros/dia;
- Carga térmica de pasteurização de 82.500 kcal/h;
- Carga térmica câmaras e salas 52.000 kcal/h.

#### Descrição dos principais componentes

- 02 compressores semi-herméticos alternativos, com regime de  $-8/+45$  °C;
- 01 Condensador a ar com temperatura de entrada do ar de 37 °C;
- 02 Evaporadores tipo placas brasado, com temperatura da solução de  $-2$  °C;
- 01 Trocador de calor líquido x sucção, tipo casco e tubos, com superaquecimento de 20 °C;
- Carga de R290 de aproximadamente 8 kg.

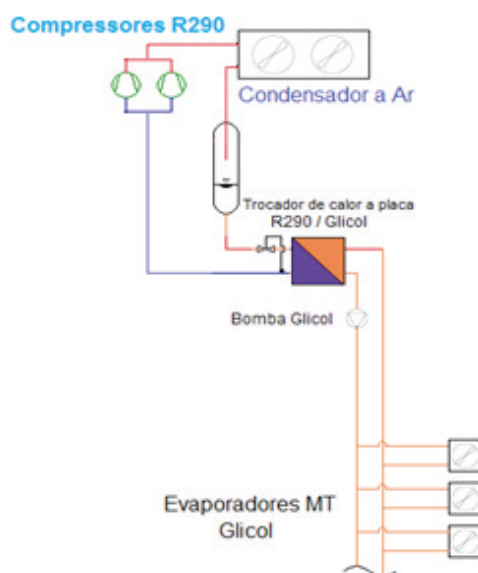


Figura 10.10 – Fluxograma simplificado.



Os principais componentes da instalação real do supermercado Zaffari são mostrados nas figuras 10.11 a 10.14



**Figura 10.11– Sistema de ventilação da unidade frigorífica de R290.**



**Figura 10.12– Unidade de resfriamento de líquido de R290.**



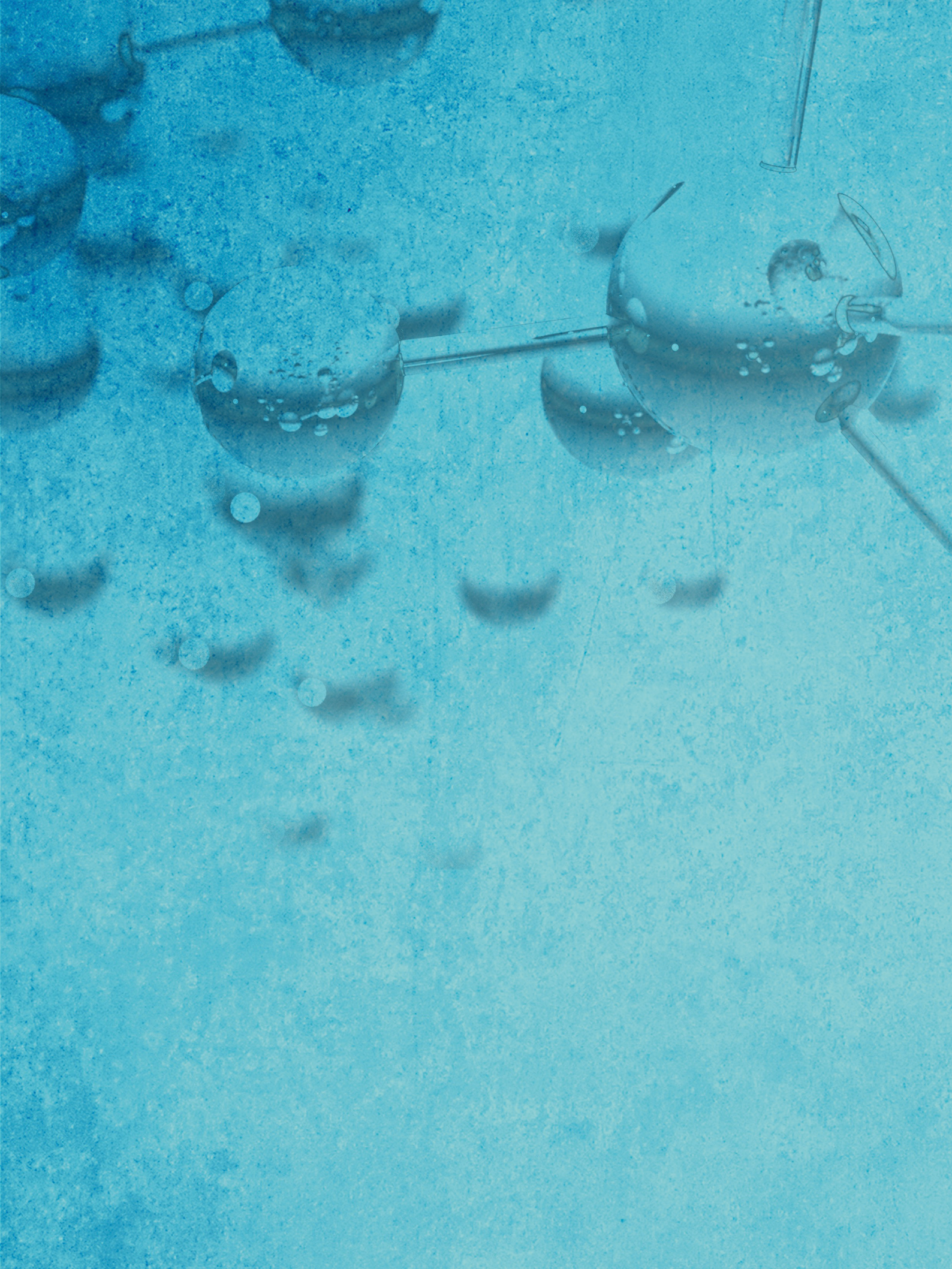
**Figura 10.13– Compressor de R290.**



**Figura 10.14 – Condensador de ar remoto para R290.**









# Resumo



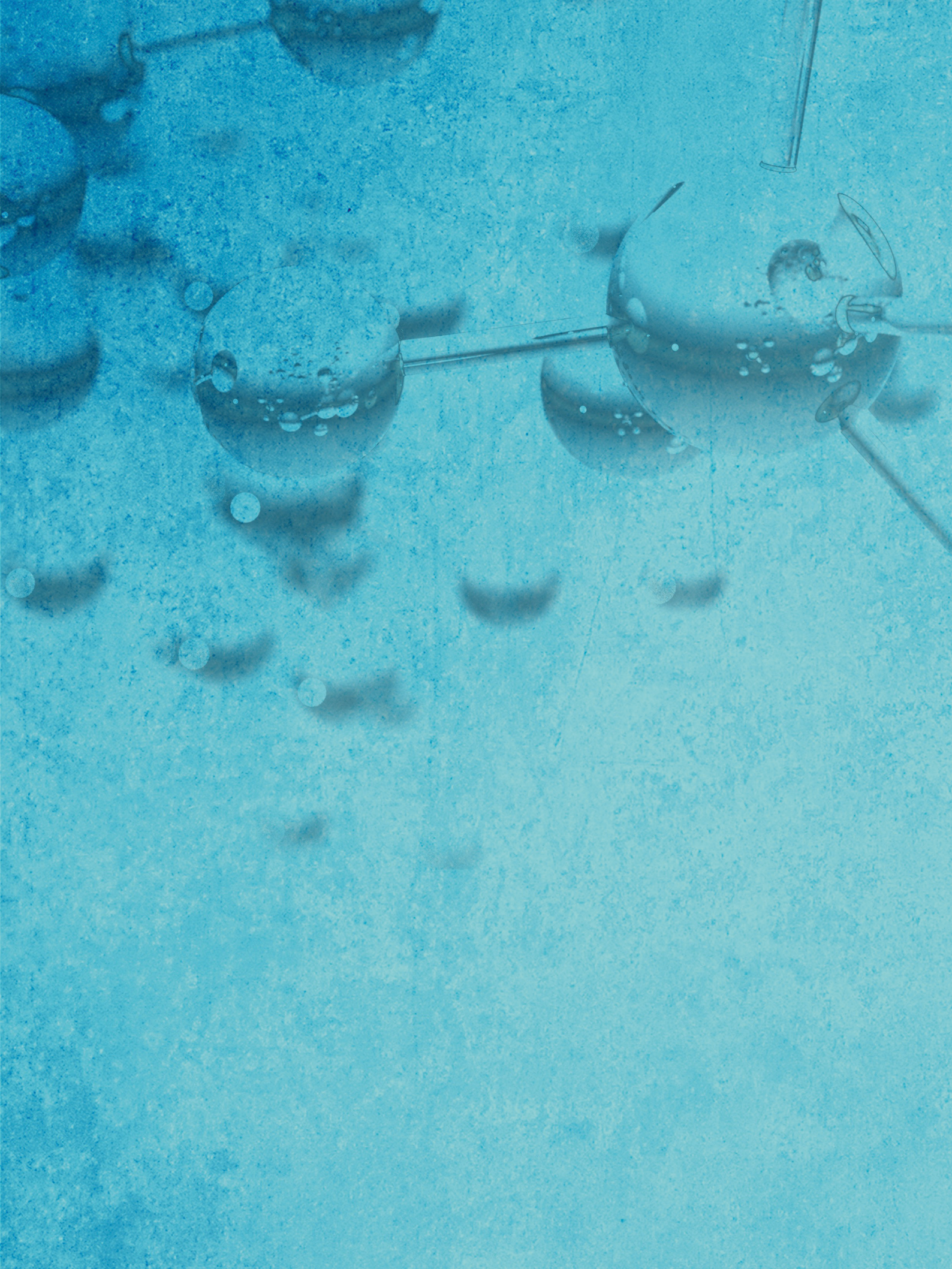


As inovações tecnológicas têm contribuído na consideração dos fluidos frigoríficos naturais como uma solução segura e econômica para aplicações em numerosas áreas. Por causa dos menores impactos para sistema climático global e por serem mais adequados dentro da perspectiva de desenvolvimento tecnológico sustentável, sistemas de refrigeração com fluidos naturais já exercem um papel importante como soluções técnicas em diversas aplicações, principalmente na refrigeração comercial de supermercados.

Por meio da tecnologia atualmente disponível, os fornecedores de compressores, componentes e controles não enxergam qualquer questão técnica que impeça a aplicação dos fluidos frigoríficos naturais no campo da refrigeração comercial para supermercados. De certo modo, o sistema de refrigeração com fluido natural é mecanicamente muito simples. Entretanto, exige um amplo conhecimento referente ao seu comportamento sob certas condições. É preciso treinar todos os envolvidos quanto às questões de segurança, projeto, instalação, operação e manutenção do sistema. Além disso, é necessário seguir todas as normas de segurança e recomendações dos fabricantes para que o sistema possa ser projetado, instalado e operado de maneira segura e confiável.









# Referências Bibliográficas

12



Bitzer, Refrigerant Report, 17º Edição, 2012.

Normas técnicas: EN 378-1; Ashrae Standard 34-2010.

HCFC no Brasil de 2015, Revista Abrava, edição 284 – outubro 2010.

Manual de Boas Práticas em Supermercados para Sistemas de Refrigeração e Ar Condicionado. Fluidos Refrigerantes Alternativos - Ministério do Meio Ambiente (MMA), ABRAS e ABRAVA, pág. 15 –19.

Silva, Alessandro. Dióxido de Carbono – CO<sub>2</sub> (R744), Utilizado como Fluido Refrigerante em Sistemas de Refrigeração Comercial e Industrial, Editora Nova Técnica – vol 01, pág. 33 – 40, 2009.

Silva, Alessandro. Aplicações do CO<sub>2</sub> no setor de Refrigeração Comercial para Supermercados – Uso de Fluidos Naturais em Sistemas de Refrigeração e Ar Condicionado – Ministério do Meio Ambiente – MMA, Publicação Técnica, pág. 129 – 153, 2008.

Melo, Claudio e Hermes, Christian J.L. CO<sub>2</sub> (R-744) em equipamentos de refrigeração comercial - Uso de Fluidos Naturais em Sistemas de Refrigeração e Ar Condicionado – Ministério do Meio Ambiente – MMA, Publicação Técnica, pág. 35 – 44, 2008.

Silva, Alessandro. Uma visão geral da experiência obtida da aplicação do CO<sub>2</sub> na refrigeração de supermercados no Brasil, Conbrava 2013.

Peixoto, Roberto. Uso de Fluidos Refrigerantes Naturais Proteção da Camada de Ozônio e do Clima - Instituto Mauá de Tecnologia - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento PNUD Junho/2008.

Ian, W. and Maier, D., Carbon Dioxide for Use as a Refrigerant. Innovative Equipment and Systems for Comfort and food preservation, IIR Conference, Auckland, New Zealand, 2006.

Bitzer International software, <http://www.bitzer.de>.

Coolpack software, <http://www.et.dtu.dk/CoolPack>.

Micropipe, White Rose Software.

Catálogos de compressores semi-herméticos e abertos da Bitzer para o R717, R744 e HC's.

Norma técnica: NBR 16069 - Segurança em sistemas de refrigeração, ABNT, 2010.

Norma técnica: NBR 13598 - Vasos de pressão para refrigeração, ABNT, 2011.

Norma técnica: NBR 15976 - Redução das emissões de fluidos frigoríficos halogenados em equipamentos e instalações estacionárias de refrigeração e ar condicionado, ABNT, 2011.

Cleto, Leonilton Tomaz: Recomendações sobre operação e manutenção / comissionamento e início de operação / projeto para operação segura de sistemas de refrigeração por amônia – MMA, Brasília, 2009.

Nota Técnica nº 03/DSST/SIT: REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL POR AMÔNIA - Riscos, Segurança e Auditoria Fiscal, Brasília, 2004.

Manual de Segurança Recolhimento e Reciclagem de Fluidos Refrigerantes - GTZ/Proklima, Unidade do Protocolo de Montreal, Latin América & Caribbean, 2007.

Bitzer, Application of Propane (R290), edição 2008.



Süffert et al - Ensaio para utilização de propano como refrigerante primário em Chillers para instalações de frio alimentar em supermercados – SPM Engenharia, 2010.

Bandarra Filho et al - Análise experimental de um sistema de refrigeração operando com R22 e o hidrocarboneto R1270, Congresso Gustav Lorentzen – Holanda, 2012.

GTZ, Yearbook 1996, Hydrocarbon Technology II, Eschborn, Germany, 1996.

GTZ, Natural Refrigerants, Eschborn, Germany, 2008.

IAR. Ammonia: the Natural Refrigerant of Choice. A Green Paper, International Institute of Ammonia Refrigeration, 2000.

IIR. Ammonia as a Refrigerant. International Institute of Refrigeration, 1999.

UNEP, (United Nations Environment Programme), 2010: Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee (2010 Assessment).

Presotto & Süffert – Ammonia Refrigeration in Supermarkets – Ashrae Journal, 2001.

Presotto & Süffert – Novas tendências na utilização de fluidos secundários em sistemas de refrigeração – SPM Engenharia, 2009.

Shecco, summary report ATMOSphere Asia 2014.

Sites consultados:

[www.ibama.gov.br](http://www.ibama.gov.br)

[www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br)

[www.protocolodemontreal.org.br](http://www.protocolodemontreal.org.br)

[www.ambientegegado.com.br](http://www.ambientegegado.com.br)

[www.r744.com](http://www.r744.com)

[www.ammonia21.com](http://www.ammonia21.com)

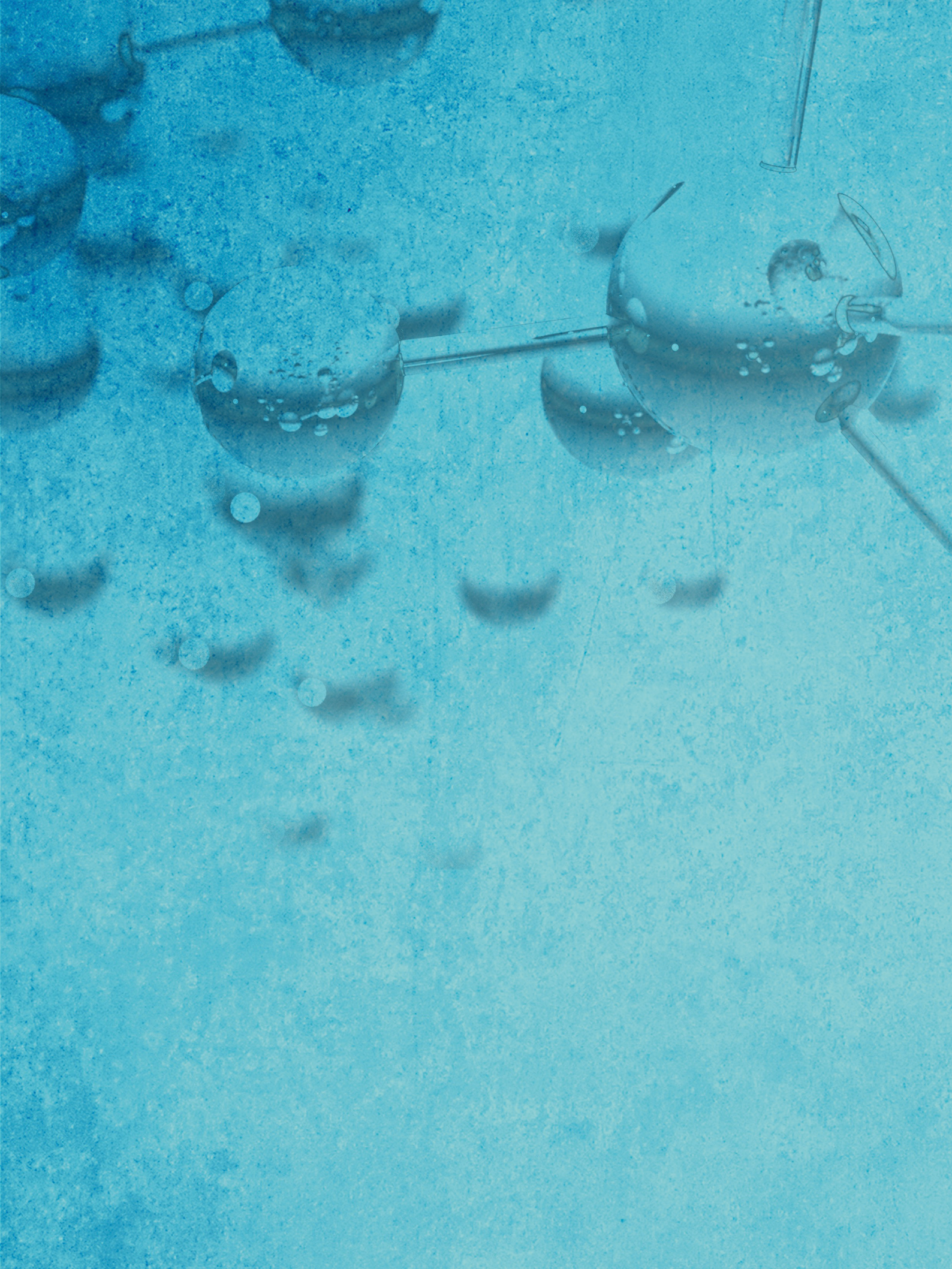
[www.eurammon.com](http://www.eurammon.com)

[www.hydrocarbons21.com](http://www.hydrocarbons21.com)

[www.iar.org](http://www.iar.org)

[www.refrigerantsnaturally.com](http://www.refrigerantsnaturally.com)





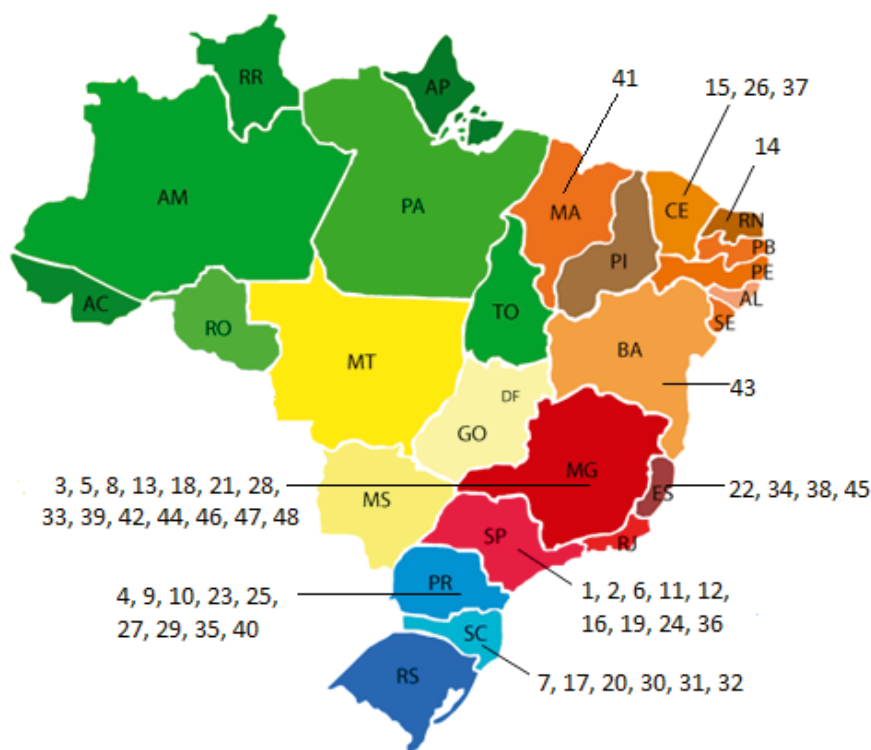


# ANEXOS



## ANEXO 1 – EVOLUÇÃO DA APLICAÇÃO DO CO<sub>2</sub> NO BRASIL

É notória a evolução das aplicações com CO<sub>2</sub> em supermercados brasileiros. As regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste já contam com instalações funcionando com este fluido natural e o número projetos não para de crescer. Desde 2009, quando foi instalada a primeira aplicação com CO<sub>2</sub> no Brasil, o interesse pela tecnologia cresceu e vem ganhando cada vez mais sucesso e força na substituição de outros fluidos, tais como o R22 e o R404A, principalmente em instalações de refrigeração comercial de supermercados. Atualmente são mais de 40 supermercados brasileiros que aderiram à tecnologia CO<sub>2</sub>.



**Figura A1.1 - Distribuição das instalações de CO<sub>2</sub> no Brasil por Estado.**

Um dos pontos-chave que tem impulsionado o mercado brasileiro pela utilização da tecnologia CO<sub>2</sub> foi a iniciativa de algumas empresas fabricantes de compressores e componentes que, sem medir esforços, montaram centros de treinamentos de excelência para oferecerem capacitações de alta qualidade destinadas aos profissionais técnicos de fabricantes de equipamentos (OEMs), instaladores, usuários finais (supermercados), etc. Esses profissionais podem ser previamente capacitados antes de iniciarem os trabalhos de elaboração de projeto, instalação, operação e manutenção de equipamentos. Essa iniciativa ainda continua sendo um dos importantes propulsores para o crescimento da aplicação do CO<sub>2</sub> no Brasil.

Uma questão importante que também tem impulsionado o usuário final a optar pela tecnologia CO<sub>2</sub> está relacionada ao seu custo de aquisição em comparação com o R404A ou R22. A média de preço do CO<sub>2</sub> no Brasil é de R\$ 7,00/kg contra R\$ 70,00/kg do R404A. Para efeito de comparação, caso uma loja de médio porte que utiliza R404A como fluido refrigerante tivesse uma perda total da carga equivalente a 500 kg, o custo financeiro seria de aproximadamente R\$ 35.000,00, enquanto que se o fluido utilizado fosse o CO<sub>2</sub>, esse custo seria de aproximadamente R\$ 1.050,00. Parte desse resultado se deve ao fato da carga de CO<sub>2</sub> ser aproximadamente 1/3 da carga de R404A.

Um fato relevante diz respeito às exigências estabelecidas pelo Protocolo de Montreal para a redução e eliminação do consumo de HCFCs a partir de 2015. Com o aumento das discussões referentes ao meio ambiente sobre a destruição da camada de ozônio e o aumento do efeito estufa, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) passa a ocupar uma posição de destaque neste cenário, principalmente para o setor de refrigeração de supermercados. A figura A1.1 apresenta a distribuição das instalações de CO<sub>2</sub> no Brasil por unidade federativa e a Tabela A1.1 exibe o detalhamento de cada instalação.

Tabela A1.1 – Detalhamento das instalações de CO<sub>2</sub> no Brasil

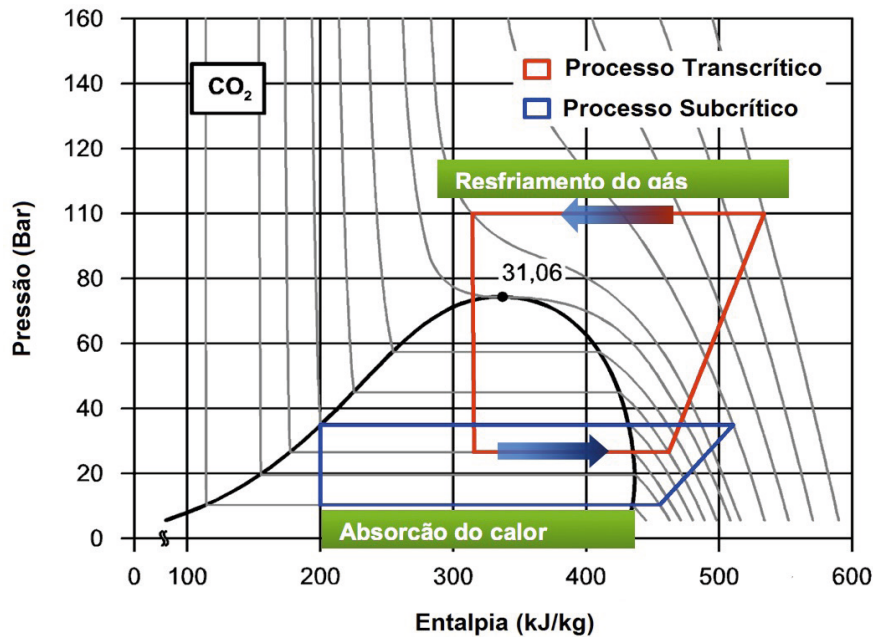
Tipo de instalação	Cidade / Estado	Data Start-up	Área Vendas (m <sup>2</sup> )	Capac. Frigor. (kW)		Configuração do Sistema	Evap. LT	Evap. MT	Estágio Alta Pressão
				LT	MT				
1. Centro de Tecnologia CO <sub>2</sub> – I	Cotia / SP	Out. 2008	144	10	20	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	CO <sub>2</sub> - LR	R404A
2. Centro de Tecnologia CO <sub>2</sub> – II	Cotia / SP	Abr. 2009	80	10	-	Subcrítico / Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	-	R134a
3. Supermercado Verdemar (Loja 5)	Belo Horizonte / MG	Mar. 2010	1.800	36	200	Subcrítico / Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
4. Hipermercado Condor (Loja 33)	S. J. Pinhal / PR	Dez. 2011	6.300	52	235	Subcrítico / Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
5. Supermercado Verdemar (Loja 6)	Belo Horizonte / MG	Dez. 2011	2.500	71	217	Subcrítico / Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
6. Centro de Tecnologia CO <sub>2</sub> – III	Cotia / SP	Abr. 2012	144	10	20	Transcrítico / Booter	CO <sub>2</sub> - DX	CO <sub>2</sub> - DX	-
7. Supermercado Giassi	São José	Abr. 2012	4.200	76	337	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R404A
8. Supermercado Verdemar (Centro Distribuição)	Belo Horizonte / MG	Mai. 2012	10.000	100	300	Subcrítico / Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
9. Hipermercado Condor (Loja 34)	Pinhal / PR	Jun. 2012	5.500	48	338	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
10. Hipermercado Condor (Loja 35)	Campo Comprido / PR	Jul. 2012	4.000	35	175	Subcrítico / Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
11. Extra Hipermercado (Unidade 2065)	Castelo Branco / SBC-SP	Ago. 2012	1.270	23	127	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
12. Supermercado Bon Netto	Jaguariuna / SP	Set. 2012	1.400	64	235	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	CO <sub>2</sub> - LR	R134a
13. Supermercado Apoio Mineiro	Ribeirão das Neves / MG	Set. 2012	4.200	54	184	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
14. Supermercado Nordestão	Natal / RN	Nov. 2012	3.258	75	319	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
15. Supermercado Cometa	Fortaleza / CE	Nov. 2012	3.700	34	128	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	CO <sub>2</sub> - LR	R134a
16. Supermercado Pão Açúcar	Washington Luiz / SP	Nov. 2012	2.950	35	279	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
17. Supermercado Cooper Garcia	Blumenau / SC	Nov. 2012	3.400	85	350	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
18. Supermercado Apoio Mineiro (Centro Distribuição)	Contagem / MG	Nov. 2012	600	105	-	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	-	R134a
19. Supermercado Tenda Atacado	Sumaré / SP	Nov. 2012	4.000	48	353	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
20. Supermercado Zoni	Gaspar / SC	Dez. 2012	1.285	36	149	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
21. Super ABC 21 Abril	Divinópolis / MG	Dez. 2012	2.300	30	152	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
22. Supermercado Extra Bom (Centro Distribuição)	Serra / ES	Dez. 2012	14.200	84	180	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
23. Supermercado Angeloni	Londrina / PR	Dez. 2012	3.769	116	284	Subcrítico / Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
24. Supermercado Tenda Atacado	Itanhaém / SP	Dez. 2012	3.500	62	293	Subcrítico / Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
25. Supermercado Condor (Loja 36)	Paranaíba / PR	Dez. 2012	2.596	29	192	Subcrítico / Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
26. Supermercado Compremax	Fortaleza / CE	Fev. 2013	1.400	25	67	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	CO <sub>2</sub> - LR	R134a
27. Supermercado Angeloni	Maringá / PR	Fev. 2013	5.591	144	411	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
28. Supermercado Apoio Mineiro	Sabará / MG	Abr. 2013	4.200	50	176	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
29. Hipermercado Condor (Loja 37)	Maringá / PR	Set. 2013	8.400	12	47	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
30. Supermercado Imperatriz	Jurete / SC	Set. 2013	2.000	80	145	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
31. Supermercado Imperatriz	Estreito / SC	Set. 2013	3.000	75	175	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
32. Supermercado Cooper	Indaial / SC	Out. 2013	2.000	73	175	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
33. Supermercado VilleFort Ceanorte	Montes Claro / MG	Nov. 2013	5.600	94	252	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
34. Supermercado Extrabom Novo Horizonte	Serra / ES	Nov. 2013	2.100	45	170	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
35. Superpão (Panaderia)	Guarapuava / PR	Nov. 2013	8.000	28	100	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
36. Supermercado Atacadão	Itapevi / SP	Nov. 2013	14.000	28	420	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
37. Supermercado do Povo	Fortaleza / CE	Dez. 2013	ND	ND	ND	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
38. Supermercado Extrabom Shopping Boulevard	Vila Velha / ES	Dez. 2013	2.200	27	171	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
39. Superpão Shopping Contagem	Contagem / MG	Mar. 2014	900	22	110	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
40. Supermercado Tozzeto	Ponta Grossa / PR	Mar. 2014	3.700	60	297	Subcrítico / Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
41. Supermercado Mateus (Centro Distribuição)	São Luís / MA	Mar. 2014	6.000	360	832	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
42. Supermercado Apoio Mineiro	Sete Lagoas / MG	Mar. 2014	3.500	25	158	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
43. Frigorífico Frigamar (Abatedouro)	Salvador / BA	Abr. 2014	10.000	127	306	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	CO <sub>2</sub> - LR	R134a
44. Supermercado Villefort Vaz de Melo	Belo Horizonte / MG	Jun. 2014	5.200	77	222	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
45. Supermercado Atacadão	Serra / ES	Jun. 2014	6.000	84	233	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
46. Supermercado Apoio Mineiro	Lagoa Santa / MG	Ago. 2014	ND	ND	ND	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
47. Supermercado Apoio Mineiro	Santa Luzia / MG	Ago. 2014	ND	ND	ND	Subcrítico/ Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	Glicol	R134a
48. Centro Pesquisa em Fluidos Naturais – UFU	Uberlândia / MG	Set. 2014	40	10	20	Subcrítico / Cascata	CO <sub>2</sub> - DX	R290	R290

ND = Não definido



## ANEXO 2 – CICLOS DE OPERAÇÃO COM CO<sub>2</sub> E SUAS CARACTERÍSTICAS

O diagrama de pressão e entalpia do CO<sub>2</sub> da figura A2.1 mostra os traçados do ciclo de refrigeração convencional subcrítico e do ciclo de refrigeração transcrito de alta pressão para instalações de refrigeração com CO<sub>2</sub>.



**Figura A2.1 - Ciclo básico de compressão de simples estágio do CO<sub>2</sub> subcrítico e transcrito.**

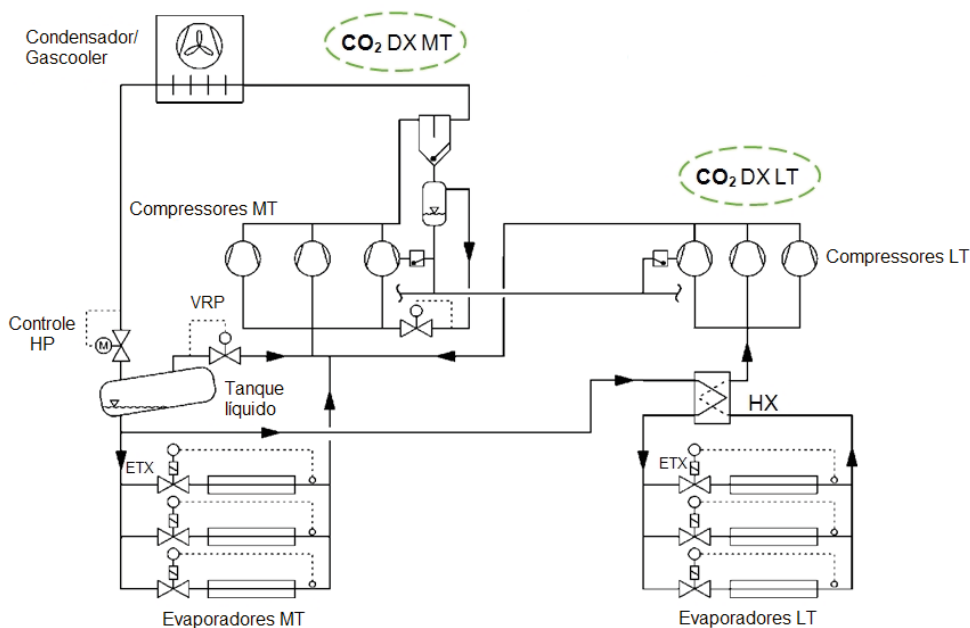
No ciclo transcrito o CO<sub>2</sub> é comprimido pelo compressor a uma pressão ótima que fica acima do ponto crítico do fluido refrigerante. Devido a pressão estar acima do ponto crítico, o fluido refrigerante não pode mais ser condensado, somente resfriado.

Não há condensador neste ciclo; o trocador de calor utilizado na descarga é chamado de “gás cooler” (resfriador gasoso). As pressões de operação do lado de alta são muito elevadas, entre 80 e 140 bars, e requerem compressores e acessórios especialmente construídos para alta pressão.

A pressão do lado de baixa poderá ser elevada e alcançar 70 bars – o que dependerá da aplicação, demandando a utilização de componentes especialmente projetados. Diversos fabricantes europeus estão trabalhando com este sistema CO<sub>2</sub> transcrito e inúmeras aplicações de refrigeração comercial e industrial estão funcionando na Europa, Austrália, Canadá, EUA.

Segundo o levantamento feito pela *Shecco 2014*, estima-se que somente na Europa haja aproximadamente 2.885 instalações de CO<sub>2</sub> transcrito e 1.638 instalações de CO<sub>2</sub> subcrítico. Desde abril de 2012 está funcionando no Brasil o primeiro sistema de CO<sub>2</sub> transcrito da América Latina instalado

no Centro de Tecnologia e Treinamento da empresa BITZER em Cotia/SP. A figura A2.2 mostra o fluxograma simplificado do referido sistema e a figura A2.3 ilustra a instalação desse equipamento.

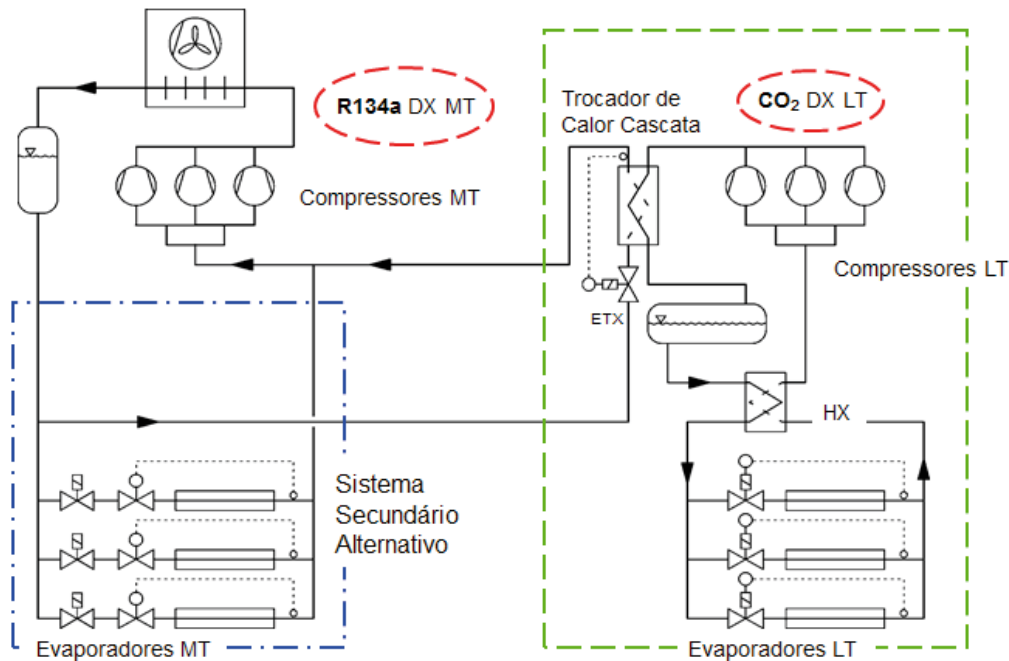


**Figura A2.2: Fluxograma simplificado do primeiro sistema de refrigeração com CO<sub>2</sub> transcrito instalado no Brasil. (Fonte: BITZER)**



**Figura A2.3: Rack de CO<sub>2</sub> transcrito instalado no Brasil. (Fonte: BITZER)**

O ciclo subcrítico é usado na maioria das aplicações comerciais e industriais, principalmente nos sistemas de refrigeração de supermercados ao redor do mundo. A única diferença entre este ciclo e o transcrito são as características do CO<sub>2</sub>. As pressões de operação são muito mais elevadas do que as de muitos fluidos frigoríficos tradicionais quando usados em sistemas de simples estágio, mas a relação de pressão sobre o compressor é menor do que as dos outros fluidos frigoríficos. As altas pressões de operação são superadas instalando os sistemas CO<sub>2</sub> em sistemas de dois estágios por meio de um arranjo chamado de sistema cascata. A figura A2.4 mostra um exemplo simplificado de um sistema cascata com CO<sub>2</sub> no estágio de baixa e com R134a no estágio de alta pressão. Essa configuração recebe o nome de sistema “Híbrido”.



**Figura A2.4 - Exemplo simplificado de sistema “Híbrido” com CO<sub>2</sub> e R134a, utilizado no sistema de refrigeração de supermercados.**

O princípio básico de operação dos sistemas cascata é que cada fluido refrigerante tem uma faixa de operação, na pressão e na temperatura, em que são idealmente adequados. Se o fluido refrigerante puder ser aplicado dentro dessa faixa de operação, o sistema poderá operar com mais eficiência. Como nenhum fluido refrigerante tem uma faixa de operação ideal que se estenda desde a baixa temperatura de evaporação até a temperatura de condensação com ar ambiente, aplica-se dois fluidos refrigerantes diferentes para permitir que sejam utilizados na melhor faixa de aplicação, o que, por sua vez, melhora a eficiência do sistema. Geralmente, os fluidos refrigerantes escolhidos tipicamente para o circuito de alta temperatura em sistemas cascata são: R717, R507, R404A, R134a ou outro apropriado.

Nos sistemas de refrigeração em cascata, encontrados nos supermercados brasileiros, o CO<sub>2</sub> é utilizado simultaneamente como fluido refrigerante de expansão seca (DX), nas seções de baixa temperatura, e como fluido bifásico bombeado (conhecido como sistema de recirculação de líquido) nas seções de média e alta temperatura. Algumas instalações de supermercados usam o CO<sub>2</sub> somente no lado de baixa temperatura, utilizando outro fluido no lado de média e alta temperatura, por exemplo, o glicol.

A eficiência volumétrica dos compressores em um sistema com CO<sub>2</sub> é mais elevada, quando comparada aos sistemas tradicionais, resultando em compressores com volume deslocado relativamente menor, quando equipado com motor de mesmo tamanho para a mesma capacidade. Tipicamente, o diâmetro das tubulações de CO<sub>2</sub> são relativamente menores, em comparação com os sistemas tradicionais. As espessuras das paredes de tubulações, dos vasos de pressão e dos componentes



do lado de alta são maiores, devendo estar em conformidade com as normas ASTM B280 e ABNT 16.069/2010 ou normas similares para tubulações e vasos de pressão. Os componentes projetados para R410A são normalmente apropriados para o uso em ciclos subcríticos com CO<sub>2</sub>, pois atendem a essas normas.

## ANEXO 3 – OPÇÕES DE CONFIGURAÇÃO DE SISTEMAS DE CO<sub>2</sub> EM CASCATA, UTILIZADOS NOS SUPERMERCADOS BRASILEIROS

Os sistemas de CO<sub>2</sub> em cascata possuem diferentes configurações, algumas são preferidas por parte dos fabricantes enquanto outras não, devido à complexidade de projeto e do tipo de controle requerido. A seguir serão abordados alguns exemplos utilizados nos supermercados brasileiros.

### **Sistema Cascata com CO<sub>2</sub> / R134a (MT com glicol e LT com CO<sub>2</sub> – DX) – *low condensing***

Esse é um dos sistemas mais utilizados nos supermercados brasileiros. O sistema é configurado em cascata e utiliza o CO<sub>2</sub> como fluido refrigerante no estágio de baixa pressão (subcrítico), com expansão direta - DX para atender os equipamentos de congelados – LT (câmaras e ilhas de congelados). Já nos equipamentos de resfriados - MT, o propileno glicol é utilizado como fluido de transferência de calor em um circuito bombeado que circula nos condensadores cascata de CO<sub>2</sub> e também nos expositores e câmaras de resfriados. No estágio de alta pressão é utilizado o R134a com carga de fluido refrigerante muito reduzida, atuando somente no resfriamento do propileno glicol. As principais vantagens desse sistema são a economia de energia, a redução da carga de fluido refrigerante (CO<sub>2</sub> / R134a), a redução do tamanho dos compressores e do diâmetro das tubulações nos circuitos de congelados com CO<sub>2</sub> e o baixo custo de manutenção e operação. Segundo o fabricante que optou por esse sistema, a redução do consumo de energia elétrica nos sistema CO<sub>2</sub> versus os sistemas tradicionais (R22 e R404A) de mesma carga térmica pode ser superior a 20% a favor do CO<sub>2</sub>. A figura A3.1 mostra um exemplo simplificado do sistema cascata de CO<sub>2</sub> / R134a - baixa condensação.

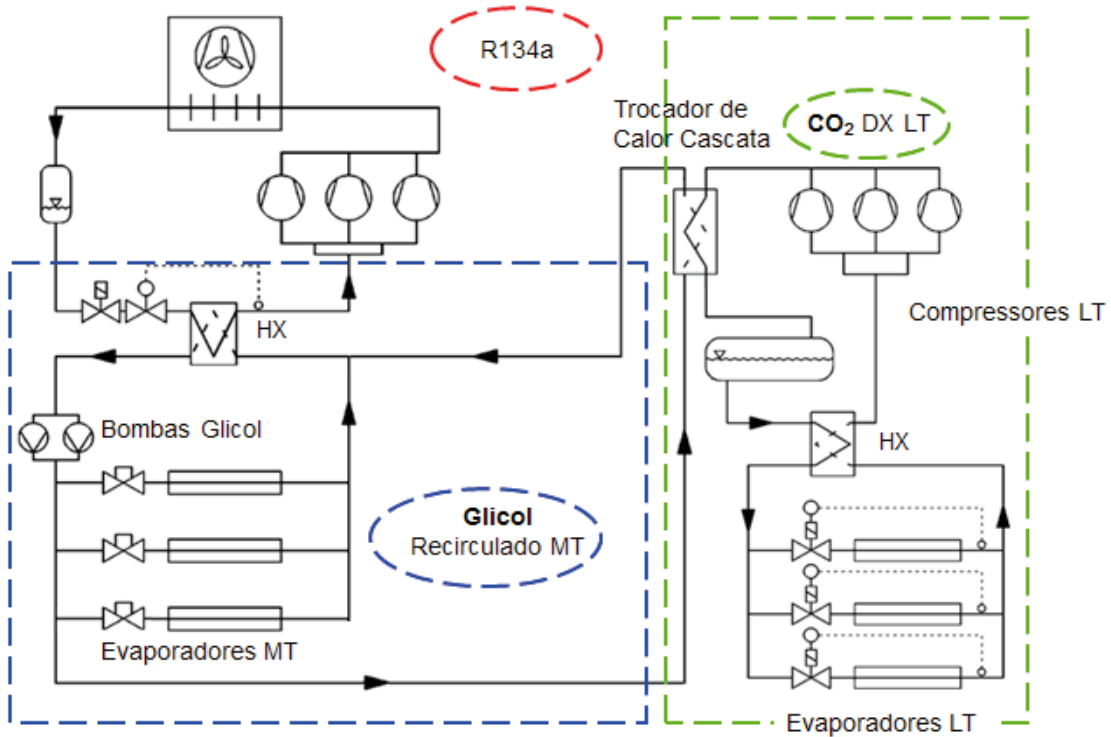


Figura A3.1 - Exemplo simplificado do sistema cascata CO<sub>2</sub>/ R134a – baixa condensação.

As figuras A3.2 a A3.5 mostram os principais componentes do sistema, como o sistema de bombeamento com glicol, rack do estágio de alta pressão com R134a, rack subcrítico de CO<sub>2</sub> e os expositores de congelados.



Figura A3.2 - Sistema de bombeamento com glicol. (Fonte: Eletrofrío)



Figura A3.3 - Racks do estágio de alta pressão com R134a. (Fonte: Eletrofrío)





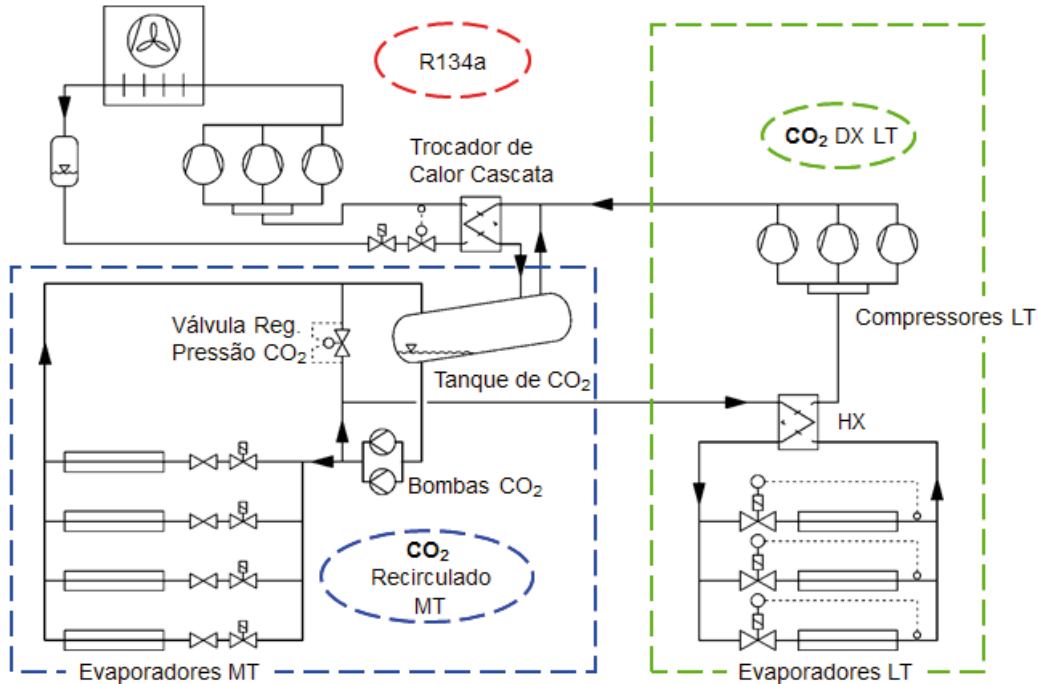
**Figura A3.4 - Rack subcrítico com CO<sub>2</sub>, condensação feita com glicol. (Fonte: Eletrofrio)**



**Figura A3.5 - Expositor e ilha de congelados que operam com CO<sub>2</sub>. (Fonte: Eletrofrio)**

### **Sistema Cascata com CO<sub>2</sub> / R134a (MT com CO<sub>2</sub> recirculado e LT com CO<sub>2</sub> – DX) - “combinado”**

Esse sistema é o escolhido por algumas empresas nacionais. O diagrama da figura A3.6 mostra o estágio de baixa com CO<sub>2</sub>, que inclui um circuito de baixa temperatura - LT com expansão direta - DX e um circuito de média temperatura - MT com recirculação de líquido - RL. O calor de ambos os sistemas é transferido ao estágio de alta pressão por meio de um trocador de calor a placas e depois transferido ao condensador resfriado a ar pelo sistema com R134a. Este tipo de arranjo permite que a maior parte do volume de fluido refrigerante fique no estágio de baixa pressão com CO<sub>2</sub> e não no estágio de alta com R134a.



**Figura A3.6 - Exemplo simplificado do sistema cascata CO<sub>2</sub> / R134a – “Combinado”.**

Nos supermercados brasileiros que utilizam esse tipo de sistema, observa-se que a carga de fluido refrigerante do estágio de baixa fica em torno de 300 kg, enquanto que o estágio de alta com R134a fica em torno de 150 kg. Uma das principais vantagens desse sistema com CO<sub>2</sub> é a economia de energia, que pode ultrapassar a 20% em relação aos sistemas tradicionais com R22 ou R404A, segundo alguns fabricantes nacionais. Há também uma redução significativa do tamanho dos compressores e do diâmetro das tubulações nos circuitos de congelados com CO<sub>2</sub>, além de menores custos de manutenção e operação.

Uma característica importante desse sistema é o tamanho reduzido do diâmetro das tubulações e dos evaporadores (câmaras e balcões) do sistema de resfriados – MT que trabalha com o CO<sub>2</sub> recirculado – RL. O tempo de resfriamento (*pull-down*) também é menor em relação aos sistemas tradicionais, já que os evaporadores de MT são inundados e aproveitam melhor a transferência de calor do CO<sub>2</sub>.

Nas figuras A3.7 e A3.8 são mostrados o rack com CO<sub>2</sub> em condição subcrítica e rack do estágio de alta pressão.



**Figura A3.7 - Rack subcrítico com CO<sub>2</sub> combinado, DX LT e Recirc. MT. (Fonte: BITZER)**



**Figura A3.8 - Rack do estágio de alta pressão com R134a. (Fonte: BITZER)**

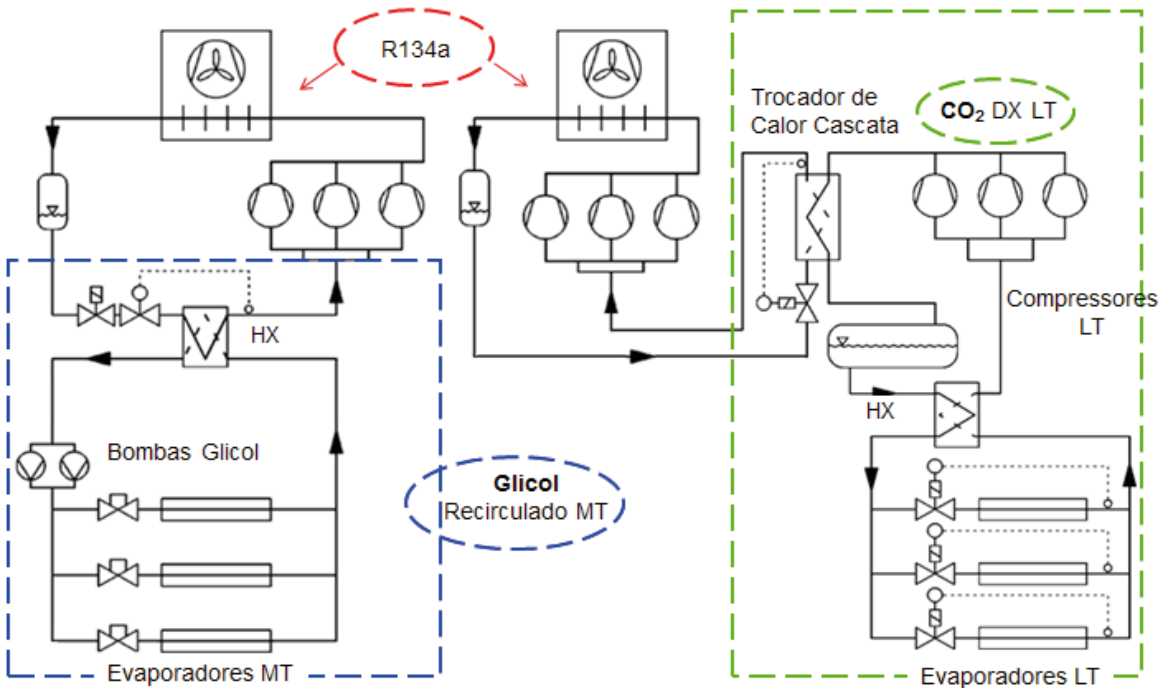
### **Sistema Cascata com CO<sub>2</sub> / R134a para LT e sistema R134a / glicol para MT– “sistema separado”**

Trata-se de um sistema de refrigeração em cascata que utiliza o CO<sub>2</sub> como fluido refrigerante no estágio de baixa pressão, com expansão direta para atender os equipamentos de congelados (câmaras e ilhas de congelados). O estágio de alta pressão é feito com R134a, por meio de um rack de refrigeração separado do sistema de MT. Já nos equipamentos de resfriados, o propileno glicol é utilizado como fluido de transferência de calor num circuito bombeado, que circula nos expositores e câmaras de resfriados; no estágio primário (*chiller*), também é utilizado o R134a com carga de fluido refrigerante muito reduzida. Esse sistema é um dos escolhidos por algumas empresas brasileiras que atuam no desenvolvimento e comercialização de sistemas de refrigeração para supermercados e também para o setor industrial.

As grandes vantagens desse sistema são a economia de energia, a redução da carga de fluido refrigerante, a simplificação da instalação, o baixo custo operacional e a facilidade de manutenção e operação, com sistemas de congelados e resfriados independentes um do outro. Todo o sistema é concentrado em um *Rack-House*, climatizado e com isolamento acústico, sendo este uma casa de máquinas que permite ao supermercadista reduzir o valor do imposto pago por área construída, já que centraliza todas as funções operacionais do sistema de refrigeração. Além disso, existe a facilidade



de de transferência do sistema, em caso de mudança, já que o *rack house* é uma espécie de cômodo transportável. A figura A3. 9 mostra um exemplo simplificado desse tipo de sistema.



**Figura A3.9 - Exemplo simplificado do sistema Cascata com CO<sub>2</sub>/ R134a para LT e MT.**

As Figuras A3.10 e A3.11 abaixo mostram exemplos desse tipo de sistema aplicado em supermercados e em centros de distribuição de alimentos.



**Figura A3.10 - Rack-house com CO<sub>2</sub> / R134a subcrítico. (Fonte: Plotter-Racks)**



**Figura A3.11 - Detalhe da montagem dos compressores de CO<sub>2</sub>. (Fonte: Plotter-Racks)**

## ANEXO 4 – CARACTERÍSTICAS TERMODINÂMICAS E TERMOFÍSICAS DOS FLUIDOS FRIGORÍFICOS NATURAIS

As propriedades termodinâmicas dos fluidos frigoríficos naturais ( $\text{CO}_2$ , R290, R1270, R600a, R717) na condição de valores saturados, nomeadamente volume específico, entalpia e entropia a partir da temperatura e da pressão, foram obtidas através do programa CoolPack do Departamento de Engenharia Energética – Instituto Tecnológico da Dinamarca – DTI e podem ser visualizadas nas Tabelas A4.1 a A4.10.

As variáveis das Tabelas são:

**T** = temperatura em °C;

**P** = pressão absoluta em Bar;

**V<sub>l</sub>** = volume específico do líquido em  $\text{dm}^3/\text{kg}$ ;

**V<sub>g</sub>** = volume específico do vapor em  $\text{m}^3/\text{kg}$ ;

**H<sub>l</sub>** = entalpia do líquido em  $\text{kJ}/\text{kg}$ ;

**H<sub>g</sub>** = entalpia do vapor em  $\text{kJ}/\text{kg}$ ;

**R** = variação de entalpia entre o líquido e vapor saturados em  $\text{kJ}/\text{kg}$ ;

**S<sub>l</sub>** = entropia do líquido em  $\text{kJ}/(\text{kg K})$ ;

**S<sub>g</sub>** = entropia do vapor em  $\text{kJ}/(\text{kg K})$ .

**Tabela A4.1 - Propriedades termodinâmicas do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) – Parte 1: -50 °C a -10 °C.**

T	P	V <sub>l</sub>	V <sub>g</sub>	H <sub>l</sub>	H <sub>g</sub>	R	S <sub>l</sub>	S <sub>g</sub>
°C	Bar	dm <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kg K)	kJ/(kg K)
-50,00	6,836	0,8652	0,05568	92,00	432,53	340,54	0,5750	2,1010
-49,00	7,119	0,8681	0,05355	94,11	432,84	338,73	0,5843	2,0955
-48,00	7,410	0,8710	0,05151	96,23	433,15	336,92	0,5936	2,0900
-47,00	7,710	0,8739	0,04956	98,34	433,44	335,09	0,6029	2,0846
-46,00	8,018	0,8768	0,04771	100,46	433,72	333,26	0,6121	2,0792
-45,00	8,336	0,8798	0,04594	102,57	433,99	331,42	0,6212	2,0739
-44,00	8,663	0,8828	0,04424	104,68	434,25	329,57	0,6303	2,0686
-43,00	9,000	0,8858	0,04263	106,78	434,50	327,72	0,6394	2,0633
-42,00	9,346	0,8889	0,04108	108,88	434,74	325,86	0,6483	2,0581
-41,00	9,701	0,8920	0,03960	110,98	434,97	324,00	0,6572	2,0529
-40,00	10,067	0,8952	0,03819	113,07	435,19	322,13	0,6661	2,0477
-39,00	10,442	0,8984	0,03683	115,15	435,40	320,25	0,6749	2,0426
-38,00	10,828	0,9017	0,03553	117,24	435,59	318,36	0,6836	2,0374
-37,00	11,224	0,9050	0,03429	119,32	435,78	316,46	0,6923	2,0324
-36,00	11,631	0,9083	0,03310	121,36	435,95	314,59	0,7007	2,0273
-35,00	12,048	0,9117	0,03196	123,43	436,11	312,68	0,7093	2,0223
-34,00	12,477	0,9151	0,03086	125,51	436,26	310,75	0,7179	2,0172
-33,00	12,916	0,9186	0,02981	127,59	436,39	308,81	0,7264	2,0122
-32,00	13,367	0,9221	0,02880	129,66	436,51	306,85	0,7348	2,0073
-31,00	13,829	0,9257	0,02783	131,74	436,62	304,88	0,7432	2,0023
-30,00	14,303	0,9293	0,02690	133,83	436,71	302,89	0,7516	1,9973
-29,00	14,788	0,9330	0,02600	135,91	436,79	300,88	0,7600	1,9924
-28,00	15,286	0,9368	0,02514	138,00	436,86	298,86	0,7684	1,9875
-27,00	15,796	0,9406	0,02431	140,10	436,91	296,81	0,7767	1,9825
-26,00	16,318	0,9444	0,02352	142,20	436,95	294,75	0,7850	1,9776
-25,00	16,852	0,9484	0,02275	144,31	436,97	292,66	0,7934	1,9727
-24,00	17,400	0,9524	0,02201	146,42	436,97	290,55	0,8016	1,9678
-23,00	17,960	0,9564	0,02130	148,55	436,96	288,42	0,8099	1,9629
-22,00	18,533	0,9606	0,02061	150,67	436,94	286,26	0,8182	1,9580
-21,00	19,120	0,9648	0,01995	152,81	436,89	284,08	0,8265	1,9531
-20,00	19,720	0,9691	0,01932	154,95	436,83	281,88	0,8347	1,9482
-19,00	20,334	0,9734	0,01870	157,10	436,75	279,65	0,8430	1,9433
-18,00	20,961	0,9778	0,01811	159,26	436,65	277,39	0,8512	1,9384
-17,00	21,603	0,9824	0,01754	161,43	436,54	275,11	0,8594	1,9334
-16,00	22,259	0,9870	0,01699	163,61	436,40	272,80	0,8677	1,9285
-15,00	22,929	0,9917	0,01645	165,79	436,25	270,46	0,8759	1,9236
-14,00	23,614	0,9965	0,01594	167,99	436,07	268,09	0,8841	1,9186
-13,00	24,313	1,0014	0,01544	170,19	435,88	265,69	0,8923	1,9136
-12,00	25,028	1,0064	0,01496	172,40	435,66	263,25	0,9005	1,9086
-11,00	25,758	1,0115	0,01450	174,63	435,42	260,79	0,9088	1,9036
-10,00	26,504	1,0167	0,01405	176,86	435,16	258,29	0,9170	1,8985



**Tabela A4.2 - Propriedades termodinâmicas do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) – Parte 2: -11 °C a 31 °C.**

T	P	V <sub>l</sub>	V <sub>g</sub>	H <sub>l</sub>	H <sub>g</sub>	R	S <sub>l</sub>	S <sub>g</sub>
°C	Bar	dm <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kg K)	kJ/(kg K)
-11,00	25,758	1,0115	0,01450	174,63	435,42	260,79	0,9088	1,9036
-10,00	26,504	1,0167	0,01405	176,86	435,16	258,29	0,9170	1,8985
-9,00	27,265	1,0221	0,01361	179,11	434,87	255,76	0,9252	1,8934
-8,00	28,042	1,0275	0,01319	181,37	434,56	253,19	0,9335	1,8883
-7,00	28,835	1,0331	0,01278	183,64	434,22	250,58	0,9417	1,8832
-6,00	29,644	1,0389	0,01239	185,93	433,86	247,93	0,9500	1,8780
-5,00	30,470	1,0447	0,01201	188,23	433,46	245,23	0,9582	1,8728
-4,00	31,313	1,0508	0,01163	190,55	433,04	242,50	0,9665	1,8675
-3,00	32,173	1,0570	0,01128	192,88	432,59	239,71	0,9749	1,8622
-2,00	33,050	1,0633	0,01093	195,23	432,11	236,88	0,9832	1,8568
-1,00	33,944	1,0699	0,01059	197,61	431,60	233,99	0,9916	1,8514
0,00	34,857	1,0766	0,01026	200,00	431,05	231,05	1,0000	1,8459
1,00	35,787	1,0836	0,00994	202,42	430,47	228,06	1,0085	1,8403
2,00	36,735	1,0908	0,00963	204,86	429,85	225,00	1,0170	1,8347
3,00	37,702	1,0982	0,00933	207,32	429,19	221,87	1,0255	1,8290
4,00	38,688	1,1058	0,00904	209,82	428,49	218,68	1,0342	1,8232
5,00	39,693	1,1137	0,00875	212,34	427,75	215,41	1,0428	1,8173
6,00	40,716	1,1220	0,00847	214,89	426,96	212,07	1,0516	1,8113
7,00	41,760	1,1305	0,00820	217,48	426,13	208,65	1,0604	1,8052
8,00	42,823	1,1393	0,00794	220,11	425,24	205,13	1,0694	1,7990
9,00	43,906	1,1486	0,00768	222,77	424,30	201,53	1,0784	1,7926
10,00	45,010	1,1582	0,00743	225,47	423,30	197,83	1,0875	1,7861
11,00	46,134	1,1683	0,00719	228,21	422,24	194,02	1,0967	1,7795
12,00	47,279	1,1788	0,00695	231,03	421,09	190,06	1,1061	1,7726
13,00	48,446	1,1899	0,00671	233,86	419,90	186,04	1,1155	1,7657
14,00	49,634	1,2015	0,00648	236,74	418,62	181,89	1,1251	1,7585
15,00	50,844	1,2138	0,00626	239,67	417,26	177,60	1,1348	1,7511
16,00	52,077	1,2269	0,00604	242,70	415,79	173,09	1,1447	1,7434
17,00	53,332	1,2407	0,00582	245,78	414,22	168,44	1,1548	1,7354
18,00	54,611	1,2555	0,00561	248,94	412,54	163,60	1,1652	1,7271
19,00	55,914	1,2714	0,00540	252,19	410,73	158,54	1,1757	1,7184
20,00	57,242	1,2886	0,00519	255,53	408,76	153,24	1,1866	1,7093
21,00	58,594	1,3073	0,00498	258,99	406,63	147,64	1,1977	1,6997
22,00	59,973	1,3277	0,00478	262,59	404,30	141,71	1,2093	1,6895
23,00	61,378	1,3502	0,00457	266,35	401,72	135,37	1,2214	1,6785
24,00	62,812	1,3755	0,00436	270,32	398,86	128,54	1,2342	1,6667
25,00	64,274	1,4042	0,00415	274,56	395,65	121,09	1,2477	1,6539
26,00	65,766	1,4374	0,00394	279,14	391,97	112,84	1,2623	1,6395
27,00	67,289	1,4769	0,00371	284,23	387,64	103,41	1,2786	1,6231
28,00	68,846	1,5259	0,00348	290,02	382,42	92,39	1,2971	1,6039
29,00	70,437	1,5909	0,00321	296,97	375,73	78,75	1,3193	1,5799
30,00	72,065	1,6895	0,00289	306,21	366,06	59,85	1,3489	1,5464
31,00	73,733	1,9686	0,00232	325,75	343,73	17,98	1,4123	1,4714
31,06	73,834	2,1552	0,00216	335,68	335,68	0,00	1,4449	1,4449

**Tabela A4.3 - Propriedades termodinâmicas do propano (R290) – Parte 1: -50 °C a 0 °C.**

T	p	VI	v <sub>g</sub>	h <sub>l</sub>	h <sub>g</sub>	R	SI	Sg
°C	Bar	dm <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kg K)	kJ/(kg K)
-50,00	0,699	1,7290	0,58311	83,64	516,57	432,93	0,5331	2,4732
-49,00	0,733	1,7322	0,55792	85,88	517,75	431,87	0,5431	2,4698
-48,00	0,768	1,7353	0,53405	88,13	518,92	430,80	0,5530	2,4664
-47,00	0,805	1,7384	0,51142	90,37	520,10	429,73	0,5630	2,4632
-46,00	0,843	1,7416	0,48996	92,62	521,27	428,65	0,5729	2,4599
-45,00	0,882	1,7448	0,46958	94,88	522,45	427,57	0,5827	2,4568
-44,00	0,923	1,7480	0,45024	97,13	523,62	426,48	0,5926	2,4537
-43,00	0,965	1,7512	0,43187	99,39	524,79	425,39	0,6024	2,4507
-42,00	1,009	1,7545	0,41440	101,66	525,96	424,30	0,6122	2,4478
-41,00	1,054	1,7577	0,39780	103,92	527,12	423,20	0,6219	2,4449
-40,00	1,101	1,7610	0,38201	106,20	528,29	422,10	0,6316	2,4420
-39,00	1,149	1,7643	0,36698	108,47	529,46	420,99	0,6413	2,4393
-38,00	1,199	1,7676	0,35266	110,75	530,62	419,88	0,6510	2,4366
-37,00	1,251	1,7709	0,33903	113,03	531,78	418,76	0,6606	2,4339
-36,00	1,305	1,7743	0,32604	115,31	532,95	417,64	0,6702	2,4313
-35,00	1,360	1,7776	0,31366	117,59	534,10	416,51	0,6798	2,4288
-34,00	1,417	1,7810	0,30185	119,88	535,26	415,38	0,6894	2,4263
-33,00	1,475	1,7844	0,29058	122,17	536,42	414,25	0,6989	2,4238
-32,00	1,536	1,7878	0,27983	124,47	537,58	413,11	0,7084	2,4214
-31,00	1,599	1,7913	0,26956	126,77	538,73	411,96	0,7178	2,4191
-30,00	1,663	1,7948	0,25975	129,07	539,88	410,81	0,7273	2,4168
-29,00	1,730	1,7982	0,25037	131,37	541,03	409,66	0,7367	2,4146
-28,00	1,798	1,8018	0,24141	133,68	542,18	408,50	0,7461	2,4124
-27,00	1,869	1,8053	0,23284	135,99	543,33	407,33	0,7554	2,4102
-26,00	1,942	1,8088	0,22464	138,30	544,47	406,17	0,7647	2,4081
-25,00	2,016	1,8124	0,21679	140,62	545,61	404,99	0,7740	2,4061
-24,00	2,093	1,8160	0,20928	142,94	546,75	403,81	0,7833	2,4041
-23,00	2,173	1,8196	0,20208	145,27	547,89	402,63	0,7926	2,4021
-22,00	2,254	1,8233	0,19518	147,59	549,03	401,43	0,8018	2,4002
-21,00	2,338	1,8270	0,18858	149,93	550,16	400,24	0,8110	2,3983
-20,00	2,424	1,8307	0,18224	152,26	551,30	399,03	0,8202	2,3965
-19,00	2,513	1,8344	0,17616	154,60	552,43	397,83	0,8293	2,3947
-18,00	2,604	1,8381	0,17033	156,94	553,55	396,61	0,8385	2,3929
-17,00	2,697	1,8419	0,16474	159,29	554,68	395,39	0,8476	2,3912
-16,00	2,793	1,8457	0,15936	161,64	555,80	394,16	0,8567	2,3895
-15,00	2,892	1,8495	0,15420	164,00	556,92	392,92	0,8658	2,3878
-14,00	2,993	1,8534	0,14925	166,36	558,04	391,68	0,8748	2,3862
-13,00	3,097	1,8573	0,14448	168,73	559,15	390,43	0,8839	2,3846
-12,00	3,204	1,8612	0,13991	171,10	560,27	389,17	0,8929	2,3831
-11,00	3,313	1,8651	0,13550	173,47	561,38	387,90	0,9019	2,3816
-10,00	3,425	1,8691	0,13127	175,85	562,48	386,63	0,9109	2,3801
-9,00	3,540	1,8731	0,12719	178,24	563,59	385,35	0,9198	2,3787
-8,00	3,658	1,8771	0,12327	180,63	564,69	384,05	0,9288	2,3772
-7,00	3,779	1,8812	0,11950	183,03	565,79	382,75	0,9377	2,3758
-6,00	3,902	1,8853	0,11586	185,44	566,88	381,44	0,9467	2,3745
-5,00	4,029	1,8894	0,11236	187,85	567,97	380,13	0,9556	2,3732
-4,00	4,159	1,8935	0,10899	190,26	569,06	378,80	0,9645	2,3719
-3,00	4,292	1,8977	0,10573	192,69	570,15	377,46	0,9734	2,3706
-2,00	4,428	1,9020	0,10260	195,12	571,23	376,11	0,9823	2,3694
-1,00	4,568	1,9062	0,09957	197,56	572,31	374,75	0,9911	2,3681
0,00	4,710	1,9106	0,09666	200,00	573,38	373,38	1,0000	2,3669

**Tabela A4.4 - Propriedades termodinâmicas do propano (R290) – Parte 2: 1 °C a 50 °C.**

T	P	V <sub>l</sub>	V <sub>g</sub>	H <sub>l</sub>	H <sub>g</sub>	R	S <sub>l</sub>	S <sub>g</sub>
°C	Bar	dm <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kg K)	kJ/(kg K)
1,00	4,856	1,9149	0,09385	202,45	574,45	372,00	1,0089	2,3658
2,00	5,005	1,9193	0,09113	204,91	575,52	370,61	1,0177	2,3646
3,00	5,158	1,9237	0,08851	207,38	576,58	369,21	1,0265	2,3635
4,00	5,314	1,9282	0,08598	209,85	577,64	367,79	1,0354	2,3624
5,00	5,474	1,9327	0,08353	212,33	578,70	366,37	1,0442	2,3614
6,00	5,637	1,9372	0,08117	214,82	579,75	364,93	1,0530	2,3603
7,00	5,804	1,9418	0,07889	217,32	580,80	363,48	1,0618	2,3593
8,00	5,974	1,9465	0,07669	219,83	581,84	362,01	1,0707	2,3583
9,00	6,148	1,9511	0,07456	222,30	582,88	360,58	1,0793	2,3573
10,00	6,326	1,9559	0,07250	224,83	583,92	359,09	1,0881	2,3564
11,00	6,508	1,9607	0,07051	227,36	584,95	357,59	1,0969	2,3554
12,00	6,694	1,9655	0,06858	229,90	585,97	356,08	1,1057	2,3545
13,00	6,883	1,9704	0,06671	232,45	586,99	354,55	1,1145	2,3536
14,00	7,076	1,9753	0,06490	235,00	588,01	353,01	1,1233	2,3527
15,00	7,274	1,9803	0,06316	237,57	589,02	351,45	1,1321	2,3518
16,00	7,475	1,9854	0,06146	240,15	590,03	349,88	1,1409	2,3509
17,00	7,681	1,9905	0,05982	242,73	591,03	348,29	1,1497	2,3501
18,00	7,890	1,9956	0,05823	245,33	592,02	346,69	1,1585	2,3492
19,00	8,104	2,0009	0,05669	247,93	593,01	345,08	1,1673	2,3484
20,00	8,322	2,0062	0,05520	250,55	593,99	343,44	1,1760	2,3476
21,00	8,545	2,0115	0,05375	253,17	594,97	341,80	1,1848	2,3468
22,00	8,771	2,0170	0,05235	255,81	595,94	340,14	1,1936	2,3460
23,00	9,003	2,0225	0,05099	258,45	596,91	338,46	1,2024	2,3452
24,00	9,238	2,0280	0,04967	261,10	597,87	336,76	1,2112	2,3445
25,00	9,478	2,0337	0,04839	263,77	598,82	335,05	1,2200	2,3437
26,00	9,723	2,0394	0,04715	266,44	599,76	333,32	1,2287	2,3430
27,00	9,972	2,0452	0,04594	269,12	600,70	331,58	1,2375	2,3422
28,00	10,226	2,0511	0,04477	271,82	601,63	329,82	1,2463	2,3415
29,00	10,485	2,0571	0,04364	274,52	602,56	328,04	1,2551	2,3408
30,00	10,749	2,0631	0,04253	277,23	603,47	326,24	1,2639	2,3401
31,00	11,017	2,0693	0,04146	279,96	604,38	324,43	1,2727	2,3393
32,00	11,290	2,0755	0,04042	282,69	605,28	322,59	1,2815	2,3386
33,00	11,568	2,0819	0,03940	285,44	606,18	320,74	1,2903	2,3379
34,00	11,852	2,0883	0,03842	288,19	607,06	318,87	1,2990	2,3372
35,00	12,140	2,0949	0,03746	290,96	607,94	316,98	1,3078	2,3365
36,00	12,433	2,1016	0,03653	293,74	608,80	315,07	1,3166	2,3358
37,00	12,732	2,1084	0,03563	296,53	609,66	313,13	1,3255	2,3351
38,00	13,036	2,1153	0,03475	299,33	610,51	311,18	1,3343	2,3344
39,00	13,345	2,1223	0,03389	302,14	611,35	309,21	1,3431	2,3336
40,00	13,659	2,1295	0,03305	304,96	612,17	307,21	1,3519	2,3329
41,00	13,979	2,1368	0,03224	307,80	612,99	305,19	1,3607	2,3322
42,00	14,305	2,1442	0,03145	310,65	613,80	303,15	1,3695	2,3315
43,00	14,636	2,1518	0,03068	313,51	614,59	301,08	1,3784	2,3307
44,00	14,973	2,1596	0,02993	316,38	615,37	298,99	1,3872	2,3300
45,00	15,315	2,1675	0,02920	319,27	616,15	296,87	1,3961	2,3292
46,00	15,663	2,1756	0,02849	322,18	616,90	294,73	1,4050	2,3284
47,00	16,017	2,1838	0,02779	325,09	617,65	292,56	1,4139	2,3277
48,00	16,377	2,1923	0,02712	328,02	618,38	290,36	1,4228	2,3269
49,00	16,742	2,2009	0,02646	330,97	619,10	288,13	1,4317	2,3260
50,00	17,114	2,2097	0,02581	333,94	619,80	285,86	1,4406	2,3252



**Tabela A4.5 - Propriedades termodinâmicas do propileno (R1270) – Parte 1: -50 °C a 0 °C.**

T	P	V <sub>l</sub>	V <sub>g</sub>	H <sub>l</sub>	H <sub>g</sub>	R	S <sub>l</sub>	S <sub>g</sub>
°C	Bar	dm <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kg K)	kJ/(kg K)
-50,00	0,913	1,6288	0,46802	84,43	526,43	442,01	0,5368	2,5175
-49,00	0,956	1,6321	0,44836	86,68	527,54	440,86	0,5468	2,5136
-48,00	1,001	1,6355	0,42971	88,94	528,65	439,71	0,5568	2,5098
-47,00	1,048	1,6388	0,41200	91,19	529,75	438,57	0,5668	2,5060
-46,00	1,096	1,6422	0,39518	93,44	530,86	437,42	0,5767	2,5024
-45,00	1,146	1,6456	0,37921	95,69	531,96	436,27	0,5865	2,4987
-44,00	1,197	1,6491	0,36402	97,94	533,06	435,12	0,5963	2,4952
-43,00	1,250	1,6525	0,34957	100,19	534,16	433,97	0,6061	2,4917
-42,00	1,305	1,6560	0,33583	102,44	535,25	432,82	0,6158	2,4882
-41,00	1,362	1,6595	0,32274	104,69	536,35	431,66	0,6255	2,4849
-40,00	1,421	1,6631	0,31028	106,94	537,44	430,50	0,6351	2,4815
-39,00	1,482	1,6666	0,29841	109,19	538,53	429,34	0,6447	2,4783
-38,00	1,545	1,6702	0,28709	111,44	539,61	428,17	0,6542	2,4751
-37,00	1,610	1,6739	0,27630	113,70	540,70	427,00	0,6638	2,4719
-36,00	1,677	1,6775	0,26600	115,95	541,78	425,83	0,6732	2,4688
-35,00	1,746	1,6812	0,25617	118,21	542,86	424,65	0,6827	2,4658
-34,00	1,817	1,6849	0,24679	120,47	543,94	423,47	0,6921	2,4628
-33,00	1,890	1,6886	0,23783	122,73	545,01	422,28	0,7015	2,4599
-32,00	1,966	1,6924	0,22926	125,00	546,08	421,08	0,7109	2,4570
-31,00	2,044	1,6961	0,22107	127,27	547,15	419,88	0,7202	2,4542
-30,00	2,124	1,7000	0,21324	129,54	548,21	418,67	0,7295	2,4514
-29,00	2,206	1,7038	0,20575	131,81	549,27	417,46	0,7388	2,4486
-28,00	2,291	1,7077	0,19858	134,09	550,33	416,24	0,7480	2,4459
-27,00	2,379	1,7116	0,19171	136,38	551,39	415,01	0,7573	2,4433
-26,00	2,469	1,7155	0,18514	138,66	552,44	413,78	0,7665	2,4407
-25,00	2,561	1,7195	0,17884	140,95	553,49	412,53	0,7757	2,4381
-24,00	2,657	1,7235	0,17280	143,25	554,53	411,28	0,7848	2,4356
-23,00	2,754	1,7275	0,16701	145,55	555,58	410,02	0,7940	2,4331
-22,00	2,855	1,7316	0,16145	147,86	556,61	408,76	0,8031	2,4306
-21,00	2,958	1,7357	0,15613	150,17	557,65	407,48	0,8122	2,4282
-20,00	3,064	1,7399	0,15101	152,48	558,68	406,19	0,8213	2,4259
-19,00	3,173	1,7440	0,14610	154,81	559,70	404,90	0,8304	2,4235
-18,00	3,285	1,7482	0,14139	157,13	560,73	403,59	0,8395	2,4212
-17,00	3,400	1,7525	0,13686	159,46	561,74	402,28	0,8485	2,4190
-16,00	3,518	1,7568	0,13250	161,80	562,76	400,96	0,8575	2,4168
-15,00	3,638	1,7611	0,12832	164,14	563,77	399,63	0,8665	2,4146
-14,00	3,762	1,7654	0,12429	166,49	564,77	398,28	0,8755	2,4124
-13,00	3,889	1,7698	0,12042	168,85	565,78	396,93	0,8845	2,4103
-12,00	4,019	1,7743	0,11670	171,21	566,77	395,57	0,8935	2,4082
-11,00	4,153	1,7787	0,11311	173,57	567,76	394,19	0,9024	2,4061
-10,00	4,290	1,7833	0,10966	175,94	568,75	392,81	0,9114	2,4041
-9,00	4,430	1,7878	0,10633	178,32	569,73	391,41	0,9203	2,4021
-8,00	4,573	1,7924	0,10313	180,71	570,71	390,00	0,9292	2,4001
-7,00	4,720	1,7971	0,10005	183,10	571,68	388,59	0,9381	2,3981
-6,00	4,870	1,8017	0,09707	185,49	572,65	387,16	0,9470	2,3962
-5,00	5,024	1,8065	0,09420	187,90	573,61	385,72	0,9558	2,3943
-4,00	5,182	1,8112	0,09144	190,30	574,57	384,27	0,9647	2,3924
-3,00	5,343	1,8161	0,08877	192,72	575,52	382,80	0,9736	2,3905
-2,00	5,508	1,8209	0,08620	195,14	576,47	381,33	0,9824	2,3887
-1,00	5,676	1,8259	0,08371	197,57	577,41	379,84	0,9912	2,3869
0,00	5,849	1,8308	0,08131	200,00	578,34	378,34	1,0000	2,3851

**Tabela A4.6 - Propriedades termodinâmicas do propileno (R1270) – Parte 2: 1 °C a 50 °C.**

T	P	V <sub>l</sub>	V <sub>g</sub>	H <sub>l</sub>	H <sub>g</sub>	R	S <sub>l</sub>	S <sub>g</sub>
°C	Bar	dm <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kg K)	kJ/(kg K)
1,00	6,025	1,8358	0,07900	202,44	579,27	376,83	1,0088	2,3833
2,00	6,205	1,8409	0,07676	204,89	580,19	375,31	1,0176	2,3816
3,00	6,389	1,8460	0,07460	207,34	581,11	373,77	1,0264	2,3799
4,00	6,577	1,8512	0,07251	209,80	582,02	372,22	1,0351	2,3782
5,00	6,769	1,8564	0,07049	212,26	582,92	370,66	1,0439	2,3765
6,00	6,965	1,8617	0,06853	214,73	583,82	369,08	1,0526	2,3748
7,00	7,166	1,8670	0,06664	217,21	584,71	367,49	1,0613	2,3731
8,00	7,370	1,8724	0,06483	219,66	585,59	365,94	1,0699	2,3715
9,00	7,579	1,8779	0,06306	222,15	586,47	364,32	1,0786	2,3699
10,00	7,792	1,8834	0,06135	224,65	587,34	362,69	1,0873	2,3683
11,00	8,010	1,8890	0,05969	227,15	588,20	361,05	1,0960	2,3667
12,00	8,232	1,8946	0,05809	229,66	589,06	359,40	1,1047	2,3651
13,00	8,459	1,9004	0,05653	232,18	589,90	357,72	1,1134	2,3635
14,00	8,690	1,9061	0,05503	234,71	590,74	356,04	1,1220	2,3619
15,00	8,926	1,9120	0,05357	237,24	591,57	354,34	1,1307	2,3604
16,00	9,166	1,9179	0,05216	239,78	592,40	352,62	1,1393	2,3588
17,00	9,411	1,9239	0,05079	242,33	593,21	350,88	1,1480	2,3573
18,00	9,661	1,9299	0,04946	244,89	594,02	349,13	1,1566	2,3557
19,00	9,916	1,9361	0,04817	247,45	594,82	347,37	1,1652	2,3542
20,00	10,175	1,9423	0,04692	250,02	595,61	345,58	1,1738	2,3527
21,00	10,440	1,9486	0,04571	252,60	596,39	343,78	1,1824	2,3512
22,00	10,709	1,9549	0,04453	255,19	597,16	341,97	1,1911	2,3497
23,00	10,984	1,9614	0,04339	257,79	597,92	340,13	1,1997	2,3482
24,00	11,264	1,9679	0,04228	260,40	598,67	338,27	1,2083	2,3467
25,00	11,549	1,9745	0,04120	263,02	599,42	336,40	1,2169	2,3452
26,00	11,839	1,9813	0,04016	265,64	600,15	334,50	1,2255	2,3436
27,00	12,135	1,9881	0,03914	268,28	600,87	332,59	1,2341	2,3421
28,00	12,436	1,9950	0,03816	270,93	601,58	330,65	1,2427	2,3406
29,00	12,742	2,0020	0,03720	273,58	602,28	328,70	1,2513	2,3391
30,00	13,054	2,0091	0,03626	276,25	602,97	326,72	1,2599	2,3376
31,00	13,371	2,0163	0,03536	278,93	603,65	324,72	1,2685	2,3361
32,00	13,694	2,0236	0,03448	281,62	604,31	322,69	1,2771	2,3346
33,00	14,023	2,0311	0,03362	284,32	604,97	320,65	1,2857	2,3331
34,00	14,357	2,0386	0,03278	287,03	605,61	318,58	1,2944	2,3315
35,00	14,698	2,0463	0,03197	289,76	606,24	316,48	1,3030	2,3300
36,00	15,044	2,0541	0,03118	292,49	606,85	314,36	1,3116	2,3285
37,00	15,396	2,0620	0,03041	295,24	607,45	312,21	1,3203	2,3269
38,00	15,754	2,0700	0,02967	298,01	608,04	310,03	1,3289	2,3253
39,00	16,118	2,0782	0,02894	300,78	608,61	307,83	1,3376	2,3238
40,00	16,488	2,0865	0,02823	303,58	609,17	305,60	1,3463	2,3222
41,00	16,865	2,0950	0,02754	306,38	609,72	303,34	1,3550	2,3206
42,00	17,247	2,1037	0,02686	309,20	610,25	301,05	1,3637	2,3189
43,00	17,636	2,1124	0,02620	312,03	610,76	298,73	1,3724	2,3173
44,00	18,032	2,1214	0,02556	314,88	611,26	296,37	1,3811	2,3156
45,00	18,434	2,1305	0,02494	317,75	611,74	293,99	1,3899	2,3139
46,00	18,842	2,1398	0,02433	320,63	612,20	291,57	1,3986	2,3122
47,00	19,257	2,1493	0,02374	323,53	612,64	289,11	1,4074	2,3105
48,00	19,679	2,1590	0,02316	326,44	613,07	286,63	1,4162	2,3087
49,00	20,107	2,1689	0,02259	329,37	613,47	284,19	1,4251	2,3070
50,00	20,542	2,1790	0,02204	332,32	613,86	281,54	1,4339	2,3051

**Tabela A4.7 - Propriedades termodinâmicas do isobutano (R600a) – Parte 1: -50 °C a 0 °C.**

T	P	V <sub>l</sub>	V <sub>g</sub>	H <sub>l</sub>	H <sub>g</sub>	R	S <sub>l</sub>	S <sub>g</sub>
°C	Bar	dm <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kg K)	kJ/(kg K)
-50,00	0,168	1,5790	1,88115	90,53	489,79	399,27	0,5586	2,3478
-49,00	0,178	1,5815	1,78512	92,69	491,06	398,37	0,5683	2,3455
-48,00	0,188	1,5839	1,69494	94,85	492,33	397,48	0,5779	2,3433
-47,00	0,198	1,5864	1,61021	97,01	493,60	396,59	0,5875	2,3411
-46,00	0,210	1,5889	1,53054	99,17	494,88	395,71	0,5970	2,3390
-45,00	0,221	1,5914	1,45559	101,33	496,16	394,83	0,6064	2,3370
-44,00	0,233	1,5939	1,38504	103,49	497,44	393,95	0,6159	2,3351
-43,00	0,246	1,5964	1,31859	105,64	498,72	393,08	0,6253	2,3332
-42,00	0,259	1,5989	1,25596	107,80	500,00	392,20	0,6346	2,3314
-41,00	0,273	1,6014	1,19691	109,96	501,29	391,33	0,6439	2,3296
-40,00	0,288	1,6039	1,14119	112,12	502,58	390,46	0,6532	2,3279
-39,00	0,303	1,6065	1,08859	114,27	503,87	389,60	0,6624	2,3263
-38,00	0,318	1,6091	1,03891	116,43	505,16	388,73	0,6716	2,3247
-37,00	0,334	1,6116	0,99195	118,59	506,46	387,87	0,6807	2,3232
-36,00	0,351	1,6142	0,94756	120,75	507,76	387,01	0,6899	2,3218
-35,00	0,369	1,6168	0,90555	122,91	509,06	386,15	0,6989	2,3204
-34,00	0,387	1,6194	0,86580	125,07	510,36	385,29	0,7080	2,3190
-33,00	0,406	1,6220	0,82815	127,24	511,66	384,43	0,7170	2,3178
-32,00	0,426	1,6246	0,79247	129,40	512,97	383,57	0,7260	2,3166
-31,00	0,447	1,6273	0,75866	131,57	514,28	382,71	0,7349	2,3154
-30,00	0,468	1,6299	0,72659	133,73	515,59	381,85	0,7438	2,3143
-29,00	0,490	1,6326	0,69615	135,90	516,90	380,99	0,7527	2,3132
-28,00	0,513	1,6353	0,66726	138,07	518,21	380,14	0,7616	2,3122
-27,00	0,536	1,6380	0,63983	140,25	519,52	379,28	0,7704	2,3113
-26,00	0,561	1,6407	0,61376	142,42	520,84	378,42	0,7792	2,3104
-25,00	0,586	1,6434	0,58897	144,60	522,16	377,56	0,7880	2,3095
-24,00	0,613	1,6461	0,56540	146,78	523,48	376,70	0,7967	2,3087
-23,00	0,640	1,6489	0,54298	148,96	524,80	375,85	0,8055	2,3079
-22,00	0,668	1,6516	0,52163	151,14	526,13	374,99	0,8141	2,3072
-21,00	0,698	1,6544	0,50130	153,33	527,45	374,12	0,8228	2,3066
-20,00	0,728	1,6572	0,48194	155,52	528,78	373,26	0,8315	2,3059
-19,00	0,759	1,6600	0,46348	157,71	530,11	372,40	0,8401	2,3054
-18,00	0,791	1,6628	0,44588	159,90	531,44	371,53	0,8487	2,3048
-17,00	0,825	1,6657	0,42910	162,10	532,77	370,67	0,8573	2,3043
-16,00	0,859	1,6685	0,41308	164,30	534,10	369,80	0,8658	2,3039
-15,00	0,894	1,6714	0,39779	166,51	535,44	368,93	0,8743	2,3035
-14,00	0,931	1,6743	0,38319	168,71	536,77	368,06	0,8828	2,3031
-13,00	0,969	1,6772	0,36924	170,92	538,11	367,19	0,8913	2,3028
-12,00	1,008	1,6801	0,35591	173,14	539,45	366,31	0,8998	2,3025
-11,00	1,048	1,6831	0,34317	175,35	540,79	365,43	0,9082	2,3022
-10,00	1,090	1,6860	0,33098	177,57	542,13	364,56	0,9167	2,3020
-9,00	1,132	1,6890	0,31931	179,80	543,47	363,67	0,9251	2,3019
-8,00	1,176	1,6920	0,30815	182,03	544,82	362,79	0,9335	2,3017
-7,00	1,222	1,6950	0,29747	184,26	546,16	361,90	0,9419	2,3016
-6,00	1,268	1,6981	0,28723	186,50	547,51	361,01	0,9502	2,3015
-5,00	1,316	1,7011	0,27743	188,74	548,85	360,12	0,9585	2,3015
-4,00	1,366	1,7042	0,26803	190,98	550,20	359,22	0,9669	2,3015
-3,00	1,416	1,7073	0,25902	193,23	551,55	358,32	0,9752	2,3016
-2,00	1,469	1,7104	0,25038	195,48	552,90	357,42	0,9835	2,3016
-1,00	1,522	1,7136	0,24209	197,74	554,25	356,51	0,9917	2,3017
0,00	1,578	1,7168	0,23414	200,00	555,60	355,60	1,0000	2,3019



**Tabela A4.8 - Propriedades termodinâmicas do isobutano (R600a) – Parte 2: 1 °C a 50 °C.**

T	P	V <sub>l</sub>	V <sub>g</sub>	H <sub>l</sub>	H <sub>g</sub>	R	S <sub>l</sub>	S <sub>g</sub>
°C	Bar	dm <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kg K)	kJ/(kg K)
1,00	1,635	1,7200	0,22650	202,27	556,95	354,69	1,0082	2,3020
2,00	1,693	1,7232	0,21917	204,54	558,31	353,77	1,0165	2,3022
3,00	1,753	1,7264	0,21213	206,81	559,66	352,85	1,0247	2,3024
4,00	1,814	1,7297	0,20536	209,09	561,02	351,92	1,0329	2,3027
5,00	1,878	1,7330	0,19886	211,38	562,37	350,99	1,0411	2,3030
6,00	1,942	1,7363	0,19260	213,67	563,73	350,06	1,0493	2,3033
7,00	2,009	1,7396	0,18659	215,96	565,08	349,12	1,0574	2,3036
8,00	2,077	1,7430	0,18080	218,26	566,44	348,18	1,0656	2,3040
9,00	2,147	1,7464	0,17524	220,57	567,80	347,23	1,0737	2,3044
10,00	2,219	1,7498	0,16988	222,88	569,16	346,28	1,0819	2,3048
11,00	2,293	1,7533	0,16472	225,20	570,51	345,32	1,0900	2,3052
12,00	2,368	1,7568	0,15975	227,52	571,87	344,35	1,0981	2,3057
13,00	2,446	1,7603	0,15496	229,85	573,23	343,38	1,1062	2,3062
14,00	2,525	1,7639	0,15035	232,18	574,59	342,41	1,1143	2,3067
15,00	2,606	1,7674	0,14590	234,52	575,95	341,43	1,1224	2,3073
16,00	2,689	1,7710	0,14162	236,87	577,31	340,44	1,1304	2,3078
17,00	2,775	1,7747	0,13748	239,22	578,67	339,45	1,1385	2,3084
18,00	2,862	1,7784	0,13350	241,58	580,03	338,45	1,1466	2,3090
19,00	2,951	1,7821	0,12965	243,94	581,39	337,45	1,1546	2,3097
20,00	3,042	1,7858	0,12594	246,31	582,75	336,44	1,1627	2,3103
21,00	3,136	1,7896	0,12235	248,69	584,11	335,42	1,1707	2,3110
22,00	3,232	1,7935	0,11889	251,07	585,47	334,40	1,1787	2,3117
23,00	3,329	1,7973	0,11555	253,46	586,83	333,37	1,1867	2,3124
24,00	3,430	1,8012	0,11232	255,85	588,18	332,33	1,1948	2,3132
25,00	3,532	1,8052	0,10920	258,26	589,54	331,29	1,2028	2,3139
26,00	3,636	1,8091	0,10618	260,67	590,90	330,23	1,2108	2,3147
27,00	3,743	1,8132	0,10327	263,08	592,26	329,17	1,2188	2,3155
28,00	3,853	1,8172	0,10045	265,51	593,61	328,11	1,2268	2,3163
29,00	3,964	1,8214	0,09772	267,94	594,97	327,03	1,2348	2,3171
30,00	4,078	1,8255	0,09509	270,38	596,33	325,95	1,2428	2,3180
31,00	4,195	1,8297	0,09253	272,82	597,68	324,86	1,2507	2,3188
32,00	4,314	1,8340	0,09006	275,28	599,03	323,76	1,2587	2,3197
33,00	4,435	1,8383	0,08767	277,74	600,39	322,65	1,2667	2,3206
34,00	4,560	1,8426	0,08536	280,20	601,74	321,53	1,2747	2,3215
35,00	4,686	1,8470	0,08312	282,68	603,09	320,41	1,2826	2,3224
36,00	4,815	1,8515	0,08094	285,16	604,44	319,27	1,2906	2,3234
37,00	4,947	1,8560	0,07884	287,66	605,79	318,13	1,2986	2,3243
38,00	5,082	1,8605	0,07680	290,16	607,13	316,98	1,3065	2,3253
39,00	5,219	1,8652	0,07482	292,67	608,48	315,82	1,3145	2,3263
40,00	5,359	1,8698	0,07291	295,18	609,83	314,64	1,3225	2,3272
41,00	5,502	1,8746	0,07105	297,71	611,17	313,46	1,3304	2,3283
42,00	5,648	1,8794	0,06925	300,24	612,51	312,27	1,3384	2,3293
43,00	5,796	1,8843	0,06750	302,78	613,85	311,07	1,3464	2,3303
44,00	5,948	1,8892	0,06580	305,34	615,19	309,85	1,3543	2,3313
45,00	6,102	1,8942	0,06417	307,86	616,53	308,67	1,3622	2,3324
46,00	6,259	1,8992	0,06257	310,43	617,86	307,53	1,3702	2,3335
47,00	6,420	1,9044	0,06102	313,01	619,19	306,39	1,3781	2,3345
48,00	6,583	1,9096	0,05951	315,59	620,52	305,27	1,3861	2,3356
49,00	6,749	1,9149	0,05805	318,19	621,85	304,13	1,3941	2,3367
50,00	6,919	1,9202	0,05663	320,80	623,17	302,98	1,4021	2,3378

**Tabela A4.9 - Propriedades termodinâmicas da amônia (R717, NH<sub>3</sub>) – Parte 1: -50 °C a 0 °C.**

T	P	V <sub>l</sub>	V <sub>g</sub>	H <sub>l</sub>	H <sub>g</sub>	R	S <sub>l</sub>	S <sub>g</sub>
°C	Bar	dm <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kg K)	kJ/(kg K)
-50,00	0,408	1,4242	2,62482	-23,77	1391,02	1414,79	0,0981	6,4382
-49,00	0,433	1,4266	2,48431	-19,38	1392,68	1412,07	0,1177	6,4173
-48,00	0,459	1,4290	2,35264	-14,99	1394,34	1409,33	0,1372	6,3967
-47,00	0,487	1,4315	2,22917	-10,60	1395,99	1406,59	0,1567	6,3764
-46,00	0,515	1,4340	2,11333	-6,20	1397,63	1403,83	0,1760	6,3562
-45,00	0,545	1,4364	2,00458	-1,80	1399,25	1401,06	0,1953	6,3363
-44,00	0,576	1,4389	1,90242	2,60	1400,87	1398,27	0,2146	6,3166
-43,00	0,609	1,4414	1,80641	7,01	1402,48	1395,47	0,2338	6,2971
-42,00	0,644	1,4440	1,71612	11,42	1404,08	1392,66	0,2529	6,2778
-41,00	0,680	1,4465	1,63116	15,84	1405,67	1389,83	0,2719	6,2587
-40,00	0,717	1,4491	1,55117	20,25	1407,25	1387,00	0,2909	6,2398
-39,00	0,756	1,4516	1,47582	24,68	1408,82	1384,14	0,3098	6,2211
-38,00	0,797	1,4542	1,40480	29,10	1410,38	1381,27	0,3286	6,2026
-37,00	0,840	1,4568	1,33783	33,53	1411,93	1378,39	0,3474	6,1843
-36,00	0,885	1,4594	1,27465	37,97	1413,46	1375,50	0,3661	6,1662
-35,00	0,931	1,4621	1,21501	42,40	1414,99	1372,59	0,3847	6,1483
-34,00	0,980	1,4647	1,15868	46,84	1416,51	1369,66	0,4033	6,1305
-33,00	1,030	1,4674	1,10545	51,29	1418,01	1366,72	0,4218	6,1130
-32,00	1,083	1,4701	1,05513	55,74	1419,50	1363,77	0,4403	6,0956
-31,00	1,138	1,4728	1,00753	60,19	1420,99	1360,80	0,4587	6,0783
-30,00	1,195	1,4755	0,96249	64,64	1422,46	1357,81	0,4770	6,0613
-29,00	1,254	1,4782	0,91984	69,10	1423,92	1354,81	0,4953	6,0444
-28,00	1,315	1,4810	0,87945	73,57	1425,36	1351,80	0,5135	6,0277
-27,00	1,379	1,4837	0,84117	78,03	1426,80	1348,77	0,5316	6,0111
-26,00	1,446	1,4865	0,80488	82,50	1428,22	1345,72	0,5497	5,9947
-25,00	1,515	1,4893	0,77046	86,98	1429,64	1342,66	0,5677	5,9784
-24,00	1,587	1,4921	0,73779	91,45	1431,04	1339,58	0,5857	5,9623
-23,00	1,661	1,4950	0,70678	95,93	1432,42	1336,49	0,6036	5,9464
-22,00	1,738	1,4978	0,67733	100,42	1433,80	1333,38	0,6214	5,9305
-21,00	1,818	1,5007	0,64934	104,91	1435,16	1330,25	0,6392	5,9149
-20,00	1,901	1,5036	0,62274	109,40	1436,51	1327,11	0,6570	5,8994
-19,00	1,987	1,5065	0,59744	113,89	1437,85	1323,95	0,6746	5,8840
-18,00	2,076	1,5094	0,57338	118,39	1439,17	1320,78	0,6923	5,8687
-17,00	2,168	1,5124	0,55047	122,90	1440,48	1317,59	0,7098	5,8536
-16,00	2,263	1,5154	0,52866	127,40	1441,78	1314,38	0,7273	5,8386
-15,00	2,362	1,5184	0,50789	131,91	1443,07	1311,15	0,7448	5,8238
-14,00	2,464	1,5214	0,48810	136,43	1444,34	1307,91	0,7622	5,8091
-13,00	2,570	1,5244	0,46923	140,94	1445,59	1304,65	0,7795	5,7945
-12,00	2,679	1,5275	0,45123	145,46	1446,84	1301,38	0,7968	5,7800
-11,00	2,791	1,5305	0,43407	149,99	1448,07	1298,08	0,8140	5,7657
-10,00	2,908	1,5336	0,41769	154,52	1449,29	1294,77	0,8312	5,7514
-9,00	3,028	1,5368	0,40205	159,05	1450,49	1291,44	0,8483	5,7373
-8,00	3,152	1,5399	0,38712	163,58	1451,68	1288,09	0,8653	5,7233
-7,00	3,280	1,5431	0,37285	168,12	1452,85	1284,73	0,8824	5,7094
-6,00	3,412	1,5463	0,35921	172,66	1454,01	1281,35	0,8993	5,6957
-5,00	3,548	1,5495	0,34618	177,21	1455,16	1277,95	0,9162	5,6820
-4,00	3,688	1,5527	0,33371	181,76	1456,29	1274,53	0,9331	5,6685
-3,00	3,833	1,5560	0,32178	186,32	1457,40	1271,09	0,9499	5,6550
-2,00	3,982	1,5593	0,31037	190,87	1458,51	1267,63	0,9666	5,6417
-1,00	4,136	1,5626	0,29944	195,43	1459,59	1264,16	0,9833	5,6284
0,00	4,294	1,5659	0,28898	200,00	1460,66	1260,66	1,0000	5,6153

**Tabela A4.10 - Propriedades termodinâmicas da amônia (R717, NH<sub>3</sub>) – Parte 2: 1 °C a 50 °C.**

T	P	V <sub>l</sub>	V <sub>g</sub>	H <sub>l</sub>	H <sub>g</sub>	R	S <sub>l</sub>	S <sub>g</sub>
°C	Bar	dm <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kg K)	kJ/(kg K)
1,00	4,457	1,5693	0,27895	204,57	1461,72	1257,15	1,0166	5,6022
2,00	4,625	1,5727	0,26935	209,14	1462,76	1253,62	1,0332	5,5893
3,00	4,797	1,5761	0,26014	213,72	1463,79	1250,07	1,0497	5,5764
4,00	4,975	1,5795	0,25131	218,30	1464,80	1246,50	1,0661	5,5637
5,00	5,158	1,5830	0,24284	222,89	1465,79	1242,91	1,0825	5,5510
6,00	5,345	1,5865	0,23471	227,47	1466,77	1239,30	1,0989	5,5384
7,00	5,539	1,5900	0,22692	232,07	1467,73	1235,66	1,1152	5,5259
8,00	5,737	1,5936	0,21943	236,67	1468,68	1232,01	1,1315	5,5135
9,00	5,941	1,5972	0,21224	241,27	1469,61	1228,34	1,1477	5,5012
10,00	6,150	1,6008	0,20533	245,87	1470,52	1224,65	1,1639	5,4890
11,00	6,365	1,6044	0,19870	250,48	1471,42	1220,94	1,1800	5,4768
12,00	6,586	1,6081	0,19232	255,10	1472,30	1217,21	1,1961	5,4647
13,00	6,813	1,6118	0,18619	259,72	1473,17	1213,45	1,2121	5,4527
14,00	7,046	1,6155	0,18029	264,34	1474,02	1209,67	1,2281	5,4408
15,00	7,285	1,6193	0,17462	268,97	1474,85	1205,88	1,2441	5,4290
16,00	7,530	1,6231	0,16916	273,60	1475,66	1202,06	1,2600	5,4172
17,00	7,781	1,6269	0,16391	278,24	1476,46	1198,21	1,2759	5,4055
18,00	8,039	1,6308	0,15885	282,89	1477,24	1194,35	1,2917	5,3939
19,00	8,303	1,6347	0,15398	287,53	1478,00	1190,46	1,3075	5,3823
20,00	8,574	1,6386	0,14929	292,19	1478,74	1186,55	1,3232	5,3708
21,00	8,851	1,6426	0,14477	296,85	1479,47	1182,62	1,3390	5,3594
22,00	9,136	1,6466	0,14041	301,51	1480,17	1178,66	1,3546	5,3481
23,00	9,427	1,6506	0,13621	306,18	1480,86	1174,68	1,3703	5,3368
24,00	9,725	1,6547	0,13216	310,86	1481,53	1170,68	1,3859	5,3255
25,00	10,031	1,6588	0,12826	315,54	1482,19	1166,65	1,4014	5,3144
26,00	10,343	1,6630	0,12449	320,23	1482,82	1162,59	1,4169	5,3033
27,00	10,664	1,6672	0,12085	324,92	1483,43	1158,51	1,4324	5,2922
28,00	10,991	1,6714	0,11734	329,62	1484,03	1154,41	1,4479	5,2812
29,00	11,326	1,6757	0,11396	334,32	1484,60	1150,28	1,4633	5,2703
30,00	11,669	1,6800	0,11069	339,04	1485,16	1146,12	1,4787	5,2594
31,00	12,020	1,6844	0,10753	343,76	1485,70	1141,94	1,4940	5,2485
32,00	12,379	1,6888	0,10447	348,48	1486,21	1137,73	1,5093	5,2377
33,00	12,746	1,6933	0,10153	353,22	1486,71	1133,49	1,5246	5,2270
34,00	13,121	1,6978	0,09867	357,96	1487,19	1129,23	1,5398	5,2163
35,00	13,504	1,7023	0,09593	362,58	1487,65	1125,07	1,5547	5,2058
36,00	13,896	1,7069	0,09327	367,33	1488,09	1120,75	1,5699	5,1952
37,00	14,296	1,7115	0,09069	372,09	1488,50	1116,41	1,5850	5,1846
38,00	14,705	1,7162	0,08820	376,86	1488,89	1112,03	1,6002	5,1741
39,00	15,122	1,7210	0,08578	381,64	1489,26	1107,62	1,6153	5,1636
40,00	15,549	1,7257	0,08345	386,43	1489,61	1103,19	1,6303	5,1532
41,00	15,985	1,7306	0,08119	391,22	1489,94	1098,72	1,6454	5,1428
42,00	16,429	1,7355	0,07900	396,02	1490,25	1094,22	1,6604	5,1325
43,00	16,883	1,7404	0,07688	400,84	1490,53	1089,69	1,6754	5,1222
44,00	17,347	1,7454	0,07483	405,66	1490,79	1085,13	1,6904	5,1119
45,00	17,820	1,7505	0,07284	410,49	1491,02	1080,53	1,7053	5,1016
46,00	18,302	1,7556	0,07092	415,34	1491,23	1075,90	1,7203	5,0914
47,00	18,795	1,7608	0,06905	420,19	1491,42	1071,23	1,7352	5,0812
48,00	19,297	1,7660	0,06724	425,06	1491,59	1066,53	1,7501	5,0711
49,00	19,809	1,7713	0,06548	429,93	1491,73	1061,79	1,7650	5,0609
50,00	20,331	1,7767	0,06378	434,82	1491,84	1057,02	1,7798	5,0508



## ANEXO 5 – CHECKLIST DE INSPEÇÃO E ATIVIDADES PARA A MANUTENÇÃO PREVENTIVA PLANEJADA

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado			Página 01
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodicamente	Sob Demanda
<b>Compressor alternativo e rotativo</b>			
1.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
1.2	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
1.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
1.4	Medição da pressão de sucção <sup>2</sup>	X	
1.5	Medição da temperatura de sucção na entrada do compressor <sup>2</sup>	X	
1.6	Medição da pressão de descarga <sup>2</sup>	X	
1.7	Medição da temperatura de descarga	X	
1.8	Inspeção do nível de óleo <sup>2</sup>	X	
1.9	Análise da acidez do óleo <sup>2</sup>	X	
1.10	Troca de óleo <sup>1/2</sup>		X
1.11	Medição da pressão de óleo <sup>2</sup>	X	
1.12	Ajuste da pressão do óleo, caso seja necessário (seguir instruções do fabricante) <sup>2</sup>		X
1.13	Medição da temperatura do óleo antes e após o resfriador de óleo <sup>2</sup>	X	
1.14	Medição da temperatura de água antes e após o resfriador de óleo <sup>2</sup>	X	
1.15	Inspeção do funcionamento do separador de óleo	X	
1.16	Inspeção do funcionamento do aquecedor do cárter	X	
1.17	Inspeção do funcionamento do sistema sem carga	X	
1.18	Inspeção do funcionamento do controle de capacidade	X	
1.19	Inspeção do funcionamento da linha de gás quente	X	
1.20	Inspeção de vazamento no selo mecânico	X	
1.21	Inspeção das válvulas de isolamento (localizada entre o transdutor de pressão e a tubulação)		X
1.22	Medição da temperatura dos rolamentos e mancais	X	
1.23	Verificação dos pontos de vazamento de fluido refrigerante (conforme seção 8)	X	
1.24	Unidades de acionamento <sup>3</sup>	<b>Página 13</b>	
1.25	Verificação do desempenho e sistema de controle	<b>Página 12</b>	

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado			Página 02
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodicamente	Sob Demanda
<b>2. Trocador de calor</b>			
<b>2.1 Condensador resfriado a ar</b>			
2.2.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
2.1.2	Inspeção das aletas e correção entre o espaçamento das mesmas		X
2.1.3	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
2.1.4	Inspeção da fixação e ruído	X	
2.1.5	Medição da temperatura de condensação <sup>2</sup>	X	
2.1.6	Medição da temperatura de sub-resfriamento <sup>2</sup>	X	
2.1.7	Medição da temperatura do ar na entrada e saída do condensador <sup>2</sup>	X	
2.1.8	Ventilador	<b>Página 11</b>	
2.1.9	Verificação do ajuste da pressão de condensação	X	
2.1.10	Verificação dos pontos de vazamento de fluido frigorífico (conforme seção 8)	X	
2.1.11	Medição do desempenho e sistema de controle	<b>Página 12</b>	
<b>2.2 Condensador resfriado a água</b>			
2.2.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
2.2.2	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
2.2.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
2.2.4	Medição da temperatura de condensação <sup>2</sup>	X	
2.2.5	Medição da temperatura de sub-resfriamento <sup>2</sup>	X	
2.2.6	Medição da temperatura da água na entrada e saída do condensador <sup>2</sup>	X	
2.2.7	Determinação da temperatura de proteção anticongelamento (água) <sup>2</sup>	X	
2.2.8	Inspeção do controle de resfriamento de água	X	
2.2.9	Ajuste do controlador de água		X
2.2.10	Bomba	<b>Página 09</b>	
2.2.11	Verificação dos pontos de vazamento de fluido frigorífico e lubrificante (conforme detalhes na seção 8)	X	
2.2.12	Verificação do funcionamento do controlador de proteção contra congelamento	X	
2.2.13	Recarga do fluido anticongelante	X	
2.2.14	Verificação do desempenho e sistema de controle	<b>Página 12</b>	

<sup>1</sup>O escopo precisa ser definido e acordado conforme orientações do fabricante.

<sup>2</sup>Os dados de medição devem ser registrados.

<sup>3</sup>Manutenção de motores e turbinas a gás e diesel, deve fazer parte dos manuais de operação e manutenção do fabricante e ser registrada.

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		Página 03	
Item Grupo de Montagem/Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodicamente	Sob Demanda
<b>2.3 Condensador evaporativo</b>			
2.3.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
2.3.2	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
2.3.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
2.3.4	Medição da temperatura de condensação <sup>2</sup>	X	
2.3.5	Medição da temperatura de sub-resfriamento <sup>2</sup>	X	
2.3.6	Medição da temperatura de bulbo úmido	X	
2.3.7	Verificação dos pontos de vazamento de fluido frigorífico e lubrificante (conforme seção 8)	X	
2.3.8	Verificação dos pontos de vazamento de água	X	
2.3.9	Ventilador	<b>Página 11</b>	
2.3.10	Verificação da distribuição e alimentação de água	X	
2.3.11	Verificação do nível da água	X	
2.3.12	Verificação do funcionamento do sistema de abastecimento de água	X	
2.3.13	Verificação do funcionamento do eliminador de névoa (inspeção visual)	X	
2.3.14	Verificação do funcionamento do sistema de retirada de lodo	X	
2.3.15	Ajuste do sistema de retirada de lodo	X	
2.3.16	Verificação do sistema de drenagem	X	
2.3.17	Filtros	<b>Página 09</b>	
2.3.18	Verificação do aquecedor da bandeja	X	
2.3.19	Bomba	<b>Página 09</b>	
2.3.20	Verificação do aquecimento na superfície	X	
2.3.21	Unidades de acionamento	<b>Página 13</b>	
2.3.22	Verificação das condições de higiene (limpeza)	X	
2.3.23	Verificação do desempenho e sistema de controle	<b>Página 12</b>	

<sup>1</sup>O escopo precisa ser definido e acordado conforme orientações do fabricante.

<sup>2</sup>Os dados de medição devem ser registrados.

<sup>3</sup>Manutenção de motores e turbinas a gás e diesel, deve fazer parte dos manuais de operação e manutenção do fabricante e ser registrada.



Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		Página 04	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodicamente	Sob Demanda
<b>2.4 Evaporador a ar (com fluido refrigerante)</b>			
2.4.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
2.4.2	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
2.4.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
2.4.4	Inspeção das aletas e correção entre o espaçamento das mesmas		X
2.4.5	Medição da pressão de evaporação <sup>2</sup>	X	
2.4.6	Medição da temperatura de evaporação na saída do evaporador <sup>2</sup>	X	
2.4.7	Verificação do valor da temperatura de superaquecimento <sup>2</sup>	X	
2.4.8	Medição da temperatura do ar na entrada e saída do evaporador <sup>2</sup>	X	
2.4.9	Ventilador	<b>Página 11</b>	
2.4.10	Inspeção do funcionamento do regulador de pressão de sucção	X	
2.4.11	Inspeção do funcionamento do dreno de condensado	X	
2.4.12	Limpeza do dreno de condensado		X
2.4.13	Inspeção do funcionamento do sistema de anticongelamento	X	
2.4.14	Inspeção do funcionamento do aquecedor do dreno de condensado	X	
2.4.15	Verificação dos pontos de vazamento de fluido refrigerante e lubrificante (conforme seção 8)	X	
2.4.16	Verificação das condições de higiene (limpeza)	X	
2.4.17	Verificação do desempenho e sistema de controle	<b>Página 12</b>	
<b>2.5 Trocador com fluido intermediário (água ou salmoura)</b>			
2.5.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
2.5.2	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>	X	
2.5.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
2.5.4	Medição da pressão de evaporação <sup>2</sup>	X	
2.5.5	Medição da temperatura de evaporação na saída do evaporador <sup>2</sup>	X	
2.5.6	Verificação do valor da temperatura de superaquecimento <sup>2</sup>	X	
2.5.7	Medição da temperatura média da entrada/saída do evaporador <sup>2</sup>	X	
2.5.8	Verificação da temperatura mínima (de proteção) para o não congelamento do fluido intermediário <sup>2</sup>	X	
2.5.9	Inspeção do nível do fluido refrigerante (evaporador inundado)	X	
2.5.10	Bomba	<b>Página 09</b>	
2.5.11	Verificação dos pontos de vazamento de fluido (conforme detalhes na seção 8)	X	
2.5.12	Verificação do desempenho e sistema de controle	<b>Página 12</b>	

<sup>1,2,3</sup>Veja página anterior.

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		Página 05	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodicamente	Sob Demanda
<b>2.6 Resfriador de ar com fluido intermediário (água ou salmoura) "fan coil"</b>			
2.6.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
2.6.2	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
2.6.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
2.6.4	Inspeção das aletas e correção entre o espaçamento das mesmas	X	
2.6.5	Medição da temperatura média de entrada e saída do resfriador <sup>2</sup>	X	
2.6.6	Medição da temperatura do ar na entrada e saída do resfriador <sup>2</sup>	X	
2.6.7	Verificação do valor da temperatura de superaquecimento <sup>2</sup>	X	
2.6.8	Verificação do sistema de aquecimento <sup>2</sup>	X	
2.6.9	Ventilador	<b>Página 11</b>	
2.6.10	Verificação do funcionamento da válvula de by-pass	X	
2.6.11	Verificação do funcionamento da válvula solenoide	X	
2.6.12	Inspeção do funcionamento do dreno de condensado	X	
2.6.13	Limpeza do dreno de condensado	X	
2.6.14	Inspeção do funcionamento do sistema de anticongelamento	X	
2.6.15	Inspeção do funcionamento do aquecedor do dreno de condensado	X	
2.6.16	Verificação das condições de higiene (limpeza)	X	
2.6.17	Bomba	<b>Página 09</b>	
2.6.18	Verificação dos pontos de vazamento de água/salmoura	X	
2.6.19	Verificação do desempenho e sistema de controle	<b>Página 12</b>	

<sup>1</sup>O escopo precisa ser definido e acordado conforme orientações do fabricante.

<sup>2</sup>Os dados de medição devem ser registrados.

<sup>3</sup>Manutenção de motores e turbinas a gás e diesel, deve fazer parte dos manuais de operação e manutenção do fabricante e ser registrada.

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		Página 06	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodicamente	Sob Demanda
<b>3. Componentes do circuito de refrigeração</b>			
<b>3.1 Linhas</b>			
3.1.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
3.1.2	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
3.1.3	Verificação de danos no isolamento	X	
3.1.4	Inspeção da fixação e ruído	X	
3.1.5	Inspeção dos amortecedores de vibração	X	
3.1.6	Verificação de obstrução no filtro secador	X	
3.1.7	Retirada do filtro secador <sup>1</sup>		X
3.1.8	Verificação das condições do fluido refrigerante na forma líquida através do visor de líquido (na linha de líquido)	X	
3.1.9	Verificação do indicador de umidade por mudança de cor	X	
3.1.10	Inspeção do nível de líquido no tanque	X	
3.1.11	Verificação dos pontos de vazamento de fluido refrigerante (conforme seção 8)	X	
<b>3.2 Controles e válvulas</b>			
3.2.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
3.2.2	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
3.2.3	Verificação de danos no isolamento	X	
3.2.4	Inspeção da fixação e ruído	X	
3.2.5	Verificação da regulagem da válvula de controle	X	
3.2.6	Ajuste da válvula de controle		X
3.2.7	Verificação do funcionamento da válvula de passagem	X	
3.2.8	Verificação do funcionamento da válvula de retenção	X	
3.2.9	Verificação do funcionamento da válvula de 4 vias (aquecimento/resfriamento)	X	
3.2.10	Verificação dos pontos de vazamento de fluido refrigerante (conforme seção 8)	X	
<b>3.3 Desempenho do sistema de controle (dispositivos de segurança)</b>			
3.3.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
3.3.2	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
3.3.3	Inspeção e teste de operação	X	
3.3.4	Ajuste conforme dados de projeto	X	
3.3.5	Verificação dos pontos de vazamento de fluido refrigerante (conforme seção 8)	X	
3.3.6	Verificação do desempenho e sistema de controle	X	

<sup>1,2,3</sup>Veja página anterior.



Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		Página 07	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodicamente	Sob Demanda
<b>3.4 Instrumentos indicadores</b>			
3.4.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
3.4.2	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
3.4.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
3.4.4	Verificação do indicador de pressão (integridade)	X	
3.4.5	Verificação do indicador de temperatura (integridade)	X	
3.4.6	Verificação do indicador de nível (integridade)	X	
3.4.7	Verificação dos pontos de vazamento de fluido refrigerante (conforme seção 8)	X	

<sup>1</sup>O escopo precisa ser definido e acordado conforme orientações do fabricante.

<sup>2</sup>Os dados de medição devem ser registrados.

<sup>3</sup>Manutenção de motores e turbinas a gás e diesel, deve fazer parte dos manuais de operação e manutenção do fabricante e ser registrada.

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado			Página 08
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodicamente	Sob Demanda
<b>4. Sistemas de resfriamento</b>			
<b>4.1 Sistemas de resfriamento evaporativo (torre de resfriamento)</b>			
4.1.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
4.1.2	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
4.1.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
4.1.4	Verificação de vazamento	X	
4.1.5	Ventilador	<b>Página 11</b>	
4.1.6	Verificação da alimentação e distribuição de água	X	
4.1.7	Verificação do nível da água	X	
4.1.8	Verificação do funcionamento do sistema de abastecimento de água	X	
4.1.9	Verificação do funcionamento do eliminador de névoa (inspeção visual)	X	
4.1.10	Verificação do funcionamento do sistema de retirada de lodo	X	
4.1.11	Ajuste do sistema de retirada de lodo		X
4.1.12	Verificação do sistema de drenagem	X	
4.1.13	Filtros	X	
4.1.14	Verificação do aquecedor da bandeja	X	
4.1.15	Bomba	X	
4.1.16	Verificação do aquecimento na superfície	X	
4.1.17	Unidades de acionamento	X	
4.1.18	Verificação das condições de higiene (limpeza)	X	
4.1.19	Verificação do desempenho e sistema de controle	X	
<b>4.2 Sistemas de resfriamento seco</b>			
4.2.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
4.2.2	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
4.2.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
4.2.4	Verificação de vazamento	X	
4.2.5	Ventilador	<b>Página 11</b>	
4.2.6	Verificação do controle de proteção anticongelamento	X	
4.2.7	Verificação das condições de higiene (limpeza)	X	
4.2.8	Verificação do desempenho e sistema de controle	X	

<sup>1,2,3</sup>Veja página anterior.

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado			Página 09
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodicamente	Sob Demanda
<b>5. Tubulação e seus componentes do circuito secundário (água e salmoura)</b>			
<b>5.1 Bombas</b>			
5.1.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
5.1.2	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
5.1.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
5.1.4	Inspeção de funcionamento	X	
5.1.5	Inspeção do sistema de controle de nível	X	
5.1.6	Verificação de vazamento (visual)	X	
5.1.7	Unidade de acionamento	<b>Página 13</b>	
5.1.8	Verificação do desempenho e sistema de controle	X	
<b>5.2 Válvulas de passagem, balanceamento e controle</b>			
5.2.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
5.2.2	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
5.2.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
5.2.4	Inspeção de funcionamento	X	
5.2.5	Verificação de vazamento (visual) (conforme seção 8)	X	
<b>5.3 Filtros</b>			
5.3.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
5.3.2	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
5.3.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
5.3.4	Limpeza dos filtros de tela (peneira)	X	
5.3.5	Verificação de vazamento (visual) (conforme seção 8)	X	

<sup>1</sup>O escopo precisa ser definido e acordado conforme orientações do fabricante.

<sup>2</sup>Os dados de medição devem ser registrados.

<sup>3</sup>Manutenção de motores e turbinas a gás e diesel, deve fazer parte dos manuais de operação e manutenção do fabricante e ser registrada.



Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		Página 10	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodicamente	Sob Demanda
<b>5.4 Tubulação (água/salmoura)</b>			
5.4.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
5.4.2	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
5.4.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
5.4.4	Inspeção de danos no isolamento	X	
5.4.5	Verificação do funcionamento do indicador de temperatura (integridade)	X	
5.4.6	Verificação do funcionamento do indicador de pressão (integridade)	X	
5.4.7	Verificação dos amortecedores de vibração	X	
5.4.8	Inspeção do sistema anticongelamento	X	
5.4.9	Verificação do sistema de aquecimento de superfície	X	
5.4.10	Inspeção do funcionamento dos aparelhos e equipamentos de segurança	X	
5.4.11	Verificação de pulga de ar	X	
5.4.12	Verificação de vazamento (visual)	X	
<b>5.5 Vasos de expansão</b>			
5.5.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
5.5.2	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
5.5.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
5.5.4	Verificação das válvulas de passagem e do tubo de expansão	X	
5.5.5	Verificação da pressão no vaso de expansão	X	
5.5.6	Verificação do coxim hidráulico	X	
5.5.7	Criação do coxim hidráulico		X
5.5.8	Verificação do funcionamento da válvula de segurança	X	
5.5.9	Verificação de vazamento (visual)	X	

<sup>1</sup>O escopo precisa ser definido e acordado conforme orientações do fabricante.

<sup>2</sup>Os dados de medição devem ser registrados.

<sup>3</sup>Manutenção de motores e turbinas a gás e diesel, deve fazer parte dos manuais de operação e manutenção do fabricante e ser registrada.

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado			Página 11
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodicamente	Sob Demanda
<b>6. Sistemas de manuseio do ar</b>			
<b>6.1 Ventiladores</b>			
6.1.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
6.1.2	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
6.1.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
6.1.4	Verificação do balanceamento do ventilador	X	
6.1.5	Ajuste das lâminas (pás)	X	
6.1.6	Inspeção de ruído dos rolamentos	X	
6.1.7	Lubrificação dos rolamentos		X
6.1.8	Verificação das conexões	X	
6.1.9	Verificação dos amortecedores de vibração	X	
6.1.10	Verificação dos equipamentos de segurança	X	
6.1.11	Verificação do controle de ventilação	X	
6.1.12	Verificação das condições de higiene (limpeza)	X	
6.1.13	Verificação do sistema de drenagem	X	
6.1.14	Unidades de acionamento		<b>Página 13</b>
<b>6.2 Dutos e filtros de ar (para regiões acessíveis)</b>			
6.2.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
6.2.2	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão interna	X	
6.2.3	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
6.2.4	Inspeção da fixação e ruído	X	
6.2.5	Verificação do sistema de drenagem	X	
6.2.6	Limpeza do sistema de drenagem <sup>1</sup>		X
6.2.7	Verificação de vazamento de ar nas junções flexíveis	X	
6.2.8	Verificação de vazamento de ar	X	
6.2.9	Inspeção de corrosão ou dano nos filtros	X	
6.2.10	Limpeza dos filtros <sup>1</sup>		X

<sup>1</sup>O escopo precisa ser definido e acordado conforme orientações do fabricante.

<sup>2</sup>Os dados de medição devem ser registrados.

<sup>3</sup>Manutenção de motores e turbinas a gás e diesel, deve fazer parte dos manuais de operação e manutenção do fabricante e ser registrada.

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado			Página 12
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodicamente	Sob Demanda
<b>7. Instalações elétricas e medição de desempenho e sistema de controle</b>			
<b>7.1 Quadro de controle</b>			
7.1.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
7.1.2	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
7.1.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
7.1.4	Inspeção das conexões elétricas	X	
7.1.5	Apertar todas as conexões elétricas (com o circuito desligado)	X	
7.1.6	Inspeção visual dos condutores elétricos (soltos/desgastados)	X	
7.1.7	Verificar e registrar tensão elétrica dos diversos circuitos <sup>2</sup>	X	
7.1.8	Verificar e registrar o consumo de energia das cargas principais <sup>2</sup>	X	
7.1.9	Verificação do funcionamento dos componentes de medição elétrica	X	
7.1.10	Verificação de desgaste dos componentes de medição elétrica	X	
7.1.11	Configuração do desempenho e sistema de controle	X	
7.1.12	Medição de sinais de entrada e testes conforme definidos no projeto elétrico	X	
7.1.13	Verificar e registrar configurações de operação <sup>2</sup>	X	
7.1.14	Realizar e registrar calibrações e parametrizações <sup>2</sup>	X	
7.1.15	Verificar pontos ligados/desligados	X	
7.1.16	Verificar tempos de operação do equipamento a fim de planejar as manutenções	X	
7.1.17	Medição do valor máximo da corrente elétrica do equipamento e verificação do ajuste do sistema de segurança de corrente elétrica	X	
7.1.18	Revisão do histórico de diagnósticos incluindo incidentes e alarmes	X	
7.1.19	Inspeção do funcionamento dos dispositivos de segurança	X	
7.1.20	Inspeção dos controles do sistema de segurança	X	
7.1.21	Configuração dos parâmetros de segurança <sup>2</sup>	X	
7.1.22	Verificação das lâmpadas indicadoras	X	
7.1.23	Verificação dos sistemas de alarmes	X	
7.1.24	Verificação do funcionamento do interruptor de emergência	X	
7.1.25	Inspeção da ventilação de entrada e saída	X	
7.1.26	Inspeção das baterias de reserva (substitua se necessário) <sup>1</sup>	X	

<sup>1,2,3</sup>Veja página anterior.



Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		Página 13	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodicamente	Sob Demanda
<b>7.2 Motor elétrico</b>			
7.2.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
7.2.2	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
7.2.3	Inspeção da fixação e ruído (rolamento)	X	
7.2.4	Lubrificação dos rolamentos <sup>1</sup>		X
7.2.5	Apertar todas as conexões elétricas (com circuito elétrico desligado)	X	
7.2.6	Inspeção visual dos condutores elétricos (soltos/desgastados)	X	
7.2.7	Verificar e registrar tensão elétrica dos diversos circuitos <sup>2</sup>	X	
7.2.8	Verificar e registrar o consumo de energia <sup>2</sup>	X	
7.2.9	Medição das fases <sup>2</sup>	X	
7.2.10	Teste do isolamento elétrico <sup>2</sup>	X	
7.2.11	Inspeção do sentido de rotação	X	
7.2.12	Inspeção do funcionamento dos dispositivos de segurança e proteção	X	
<b>7.3 Correia de transmissão</b>			
7.3.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
7.3.2	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
7.3.3	Inspeção da tensão e alinhamento da correia	X	
7.3.4	Ajuste da tensão e alinhamento da correia		X
7.3.5	Substituição da correia de transmissão <sup>1</sup>		X
7.3.6	Inspeção do funcionamento dos dispositivos de segurança e proteção	X	
<b>7.4 Acoplamento de transmissão</b>			
7.4.1	Inspeção de corrosão, poluição ou dano por agressão externa	X	
7.4.2	Limpeza para melhor funcionamento <sup>1</sup>		X
7.4.3	Inspeção da fixação e ruído	X	
7.4.4	Inspeção do alinhamento	X	
7.4.5	Verificação do óleo	X	
7.4.6	Substituição do óleo <sup>1</sup>		X

<sup>1</sup>O escopo precisa ser definido e acordado conforme orientações do fabricante.

<sup>2</sup>Os dados de medição devem ser registrados.

<sup>3</sup>Manutenção de motores e turbinas a gás e diesel, deve fazer parte dos manuais de operação e manutenção do fabricante e ser registrada.

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		Página 14	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodicamente	Sob Demanda
<b>8. Verificação/Teste de vazamentos</b>			
<b>8.1 Inspeção e métodos de testes de vazamentos indiretos</b>			
8.1.1	Inspeção e análise dos registros de manutenção e reparo	X	X
8.1.2	Inspeção dos registros de manuseio de fluido frigorífico (recarga, recolhimento)	X	X
8.1.3	Inspeção dos dados do sistema (projeto e operação)	X	X
8.1.4	Inspeção de ruído e vibração	X	X
8.1.5	Inspeção de corrosão	X	X
8.1.6	Inspeção de vazamentos de óleo	X	X
8.1.7	Inspeção de avaria dos componentes	X	X
8.1.8	Inspeção dos dispositivos de segurança	X	X
8.1.9	Inspeção dos controles e sensores de pressão	X	X
8.1.10	Inspeção das condições dos manômetros	X	X
8.1.11	Definir valores de inspeção para os dispositivos de segurança e controle de pressão	X	X
8.1.12	Verificar temperatura e pressão de operação do sistema	X	X
8.1.13	Verificar parâmetro de temperatura para refrigeração	X	X
8.1.14	Verificar nível nos visores de líquido ou indicadores de nível	X	X
8.1.15	Verificar se a queda de eficiência do sistema	X	X

Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado		Página 15	
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodicamente	Sob Demanda
<b>8. Verificação/Teste de vazamentos</b>			
<b>8.2 Inspeção e métodos de testes de vazamentos diretos</b>			
8.2.1	Detecção de vazamento de fluido refrigerante por meio de detector de gás portátil	X	X
8.2.2	Verificar sensibilidade (deve estar em 5 gramas por ano)	X	X
8.2.3	Verificar a calibração do detector de gás portátil	X	X
8.2.4	Verificação de vazamento por meio de nitrogênio seco com água e sabão	X	X
8.2.5	Verificação de vazamento por meio de vestígios de óleo	X	X
8.2.6	Inspeção nas conexões de solda ou brasagem	X	X
8.2.7	Inspeção de vazamentos nas válvulas (tampas, hastes das válvulas de serviços, Schrader, etc.)	X	X
8.2.8	Verificação de vazamento nos retentores, selos e flanges	X	X
8.2.9	Verificação de vazamento nas regiões de vibração	X	X
8.2.10	Verificação de vazamento na carcaça dos filtros secadores com núcleo substituível	X	X
8.2.11	Verificação de vazamento nos dispositivos de segurança	X	X
8.2.12	Verificação de vazamento nos plugues fusíveis	X	X
8.2.13	Verificação de vazamento nos discos de ruptura	X	X
8.2.14	Verificação de corrosão e danos mecânicos nas curvas e tubos dos condensadores	X	X
8.2.15	Verificação de corrosão e danos mecânicos nas curvas e tubos dos evaporadores	X	X
8.2.16	Verificação de vazamento nos pressostatos	X	X
8.2.17	Verificação de vazamento nas válvulas solenoides, partes móveis e juntas	X	X
8.2.18	Verificação de vazamento nas bandejas e dreno de condensado	X	X
8.2.19	Verificação de vazamento no visor de líquido, conexões e vidro	X	X
8.2.20	Reparo obrigatório dos vazamentos detectados <sup>1</sup>	X	X
8.2.21	Repetir a detecção de vazamentos nos componentes, quando tiverem sido consertados	X	X
8.2.22	Atualizar livro de registros com detalhes e retorno dos resultados das inspeções dos vazamentos	X	X
8.2.23	Reinspeção do vazamento consertado, 30 dias após o reparo <sup>1</sup>	X	X

<sup>1</sup>O escopo precisa ser definido e acordado conforme orientações do fabricante.



Checklist de Inspeção e Atividades para a Manutenção Preventiva Planejada			
Refrigeração & Ar Condicionado			Página 16
Item Grupo de Montagem/ Componente Atividade	Descrição das atividades	Execução	
		Periodicamente	Sob Demanda
<b>9. Documentação e identificação (componentes do sistema e sala de máquinas)</b>			
9.1	Verificar disponibilidade das instruções do fabricante	X	
9.2	Verificar disponibilidade do projeto elétrico	X	
9.3	Verificar disponibilidade do diagrama de fluxo	X	
9.4	Verificar disponibilidade das instruções de manutenção	X	
9.5	Verificar disponibilidade das informações operacionais para o usuário	X	
9.6	Verificar disponibilidade da placa de identificação do sistema	X	
9.7	Documentação referente à verificação dos equipamentos sob pressão e seus componentes	X	
9.8	Disponibilidade do livro de registros (consumo de fluido refrigerante, reparos, manutenção preventiva planejada)	X	
9.9	Verificar registros de teste de estanqueidade	X	
9.10	Verificar registros e integridade do livro de registros	X	
9.11	Verificar disponibilidade de identificação necessária para segurança	X	
9.12	Verificar visualidade da identificação e avisos de segurança	X	
9.13	Verificar identificação de emergência, primeiros socorros e plano de ação	X	
9.14	Verificar disponibilidade de dados de contato das empresas de instalação e manutenção	X	

<sup>1</sup>O escopo precisa ser definido e acordado conforme orientações do fabricante.

<sup>2</sup>Os dados de medição devem ser registrados.

<sup>3</sup>Manutenção de motores e turbinas a gás e diesel, deve fazer parte dos manuais de operação e manutenção do fabricante e ser registrada.





Apoio



Parceria



Agência Implementadora



Patrocinado por



Realização

Ministério do  
Meio Ambiente

